D. Boboc
G. Slapciu
P. Popescu

Metode și instalații pentru verificarea instrumentelor electrice de măsurat

86

colecția electricianului

editura tehnică

Ing. Doina Boboc * Ing. George Slapciu
Ing. Paul Popescu

Metode și instalații pentru verificarea instrumentelor electrice de măsurat

86

Editura tehnică
București — 1976

Lucrarea prezintă aparatajul, schemele și metodele de verificare și etalonare a instrumentelor electrice de măsurat uzuale, folosite în toate instalațiile de producere, transformare, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice.

Se adresează electricienilor și maiștrilor din cadrul întreprinderilor de rețele electrice, al întreprinderilor industriale ca și metrologilor din întreaga economie.

Control științific : Ing. ALEXANDRU EMANOIL
Redactor : Ing. PAULINA DUMITRESCU
Tehnoredactor : ELLY GORUN
Coperta : VALENTIN VIȘAN

Bun de tipar : 04.11.1976. Coli de tipar : 13.
Tiraj : 10.900+70 exemplare broșate.
C.Z. 621.317.004.5

Întreprinderea poligrafică „Oltenia" Craiova
Str. Mihai Viteazu nr. 4
Comanda nr. 252

1. Organizarea laboratorului

1.1. Condiții generale de lucru

Problemele privind verificările, etalonările și încercările instrumentelor de măsurat se concentrează în laboratoare special amenajate pentru a oferi condiții de lucru optime.

Normativele românești (STAS, NI) ca și recomandările internaționale (CAER, OIML, BIPM, CEI etc.) indică, cu suficientă asemănare, condițiile pe care trebuie să le respecte instrumentele de măsurare în timpul operațiilor susmenționate, astfel ca să poată fi prevăzută comportarea acestora la schimbările condițiilor de lucru.

Cu suficientă precizie, se pot considera drept condiții de referință minimale următoarele:

— temperatura — 20°C ± 3°C;
— umiditatea — 35...70%
— vibrații — lipsă totală;
— iluminare — 800...1 200 luxi;
— zgomot — max. 60 foni.

Pentru îndeplinirea cît mai exactă a acestor condiții este necesar ca laboratorul să fie amplasat în locuri unde există posibilitatea asigurării unei termostatări naturale (subsol, demisol, maximum parter).

De asemenea, se impune ca laboratorul să fie amplasat la o depărtare suficientă de zonele în care se face simțită prezența cîmpurilor electromagnetice, a surselor radioactive, zgomotelor, surselor de praf, fumului și gazelor, mediilor corosive, surselor de vibrații și trepidații.

Pentru construcțiile noi trebuie să se aibă în vedere obligativitatea orientării ferestrelor către nord.

Referitor la instalații, se recomandă realizarea iluminatului fluorescent prin montaje care să asigure lipsa integrală a pîlpîirilor și a efectelor stroboscopice. Se va evita iluminatul local cu lămpi de birou, care pot constitui surse de căldură.

Instalația de încălzire trebuie să fie realizată pe principiul termostatării cu circuite închise de aer sau rezistențe electrice.

Se interzice trecerea conductelor de la centrala termică prin pereții laboratorului.

Instalațiile de ventilații se recomandă a fi utilizate numai în situația existenței în apropiere de surse de vapori de mercur, diverși acizi, fum, praf, diverse gaze.

Laboratorul poate fi organizat, în funcție de complexitatea lucrărilor specifice unei întreprinderi, pentru verificare, etalonare și încercări asupra tuturor instrumentelor electrice sau separat pentru fiecare din tipurile cu utilizare mai mare în întreprindere.

Se recomandă ca toate problemele aferente unei singure familii de instrumente și anume verificări, etalonări, încercări de tip, fiabilitate etc., să fie concentrate în profilul aceluiași laborator, chiar dacă va cuprinde mai multe încăperi.

De aceea, lucrătorii acestor laboratoare care pot fi ingineri, fizicieni sau tehnicieni lucrează după normative numai în probleme de verificări, pentru care există o bază de normare indicată prin „Lista oficială a măsurilor și aparatelor de măsurat supuse obligatoriu verificărilor de stat" elaborată de Inspectoratul General de Stat pentru Controlul Calității Produselor — Direcția Generală a Metrologiei de Stat. Pentru restul lucrărilor: etalonări, încercări etc., care nu pot fi tipizate, șeful laboratorului le normează de la caz la caz prevăzînd totodată și utilajele și personalul cu calificarea necesară.

Laboratorul mai este prevăzut de regulă cu muncitori pentru întreținere curentă și efectuare de lucrări auxiliare.

În vederea obținerii dreptului de funcționare pe baza reglementărilor metrologice oficiale, laboratorul trebuie să fie autorizat de organele metrologice ale Inspectoratului General de Stat.

Autorizarea trebuie să ateste îndeplinirea condițiilor tehnice, dotarea cu utilaje și etaloane și calificarea șefului laboratorului. Concomitent, toți cei care efectuează verificări de stat trebuie să fie autorizați, din punct de vedere al pregătirii lor profesionale și experienței în acest domeniu, de același organ de stat și pe baza aceleiași legislații.

1.2. Surse de alimentare

În vederea realizării verificărilor de stat, în conformitate cu schemele de transmitere a unităților de măsură, se impune ca fiecare laborator să-și asigure sursele de alimentare necesare.

Pentru măsurarea tuturor elementelor pasive ca de exemplu rezistențe, este necesar să se dispună de surse auxiliare.

Se deosebesc următoarele tipuri:

— *Surse de curent continuu* caracterizate prin următoarele mărimi nominale: tensiune electromotoare, rezistența internă și curentul maxim pe care îl poate debita.

— *Surse de curent alternativ* caracterizate prin următoarele mărimi nominale: frecvență, tensiune electromotoare, impedanță internă și puterea maximă pe care o poate furniza.

1.2.1. *Surse de curent continuu*

Sursele de curent continuu pot fi electrochimice sau electronice. Cele electronice la rîndul lor pot fi surse nestabilizate sau stabilizate după cum este realizată schema.

Surse de curent continuu electrochimice (pile și acumulatoare). *Pilele electrice* sînt elemente galvanice la care energia electrică se obține pe seama energiei chimice produse prin transformările care au loc între substanțele componente.

Considerînd că datele constructive sînt cunoscute din publicațiile de specialitate, se exemplifică în continuare cîteva tipuri de pile mai mult utilizate:

— Pilele umede sînt dotate cu electrolit lichid, cum este de exemplu *elementul* tip *Volta* care are electrozii din zinc și din cupru cufundați într-o soluție apoasă de acid sulfuric; tensiunea electromotoare a elementului Volta este de 1,1 V.

— Pilele uscate sînt prevăzute cu electrolit sub formă de pastă care nu permite schimbarea poziției electrozilor, ceea ce face ca transportarea lor să poată fi făcută fără precauții deosebite. Cel mai întrebuințat element este *pila Léclanché*. Acesta are ca electrod negativ un pahar de zinc, iar ca electrod pozitiv un creion de cărbune. Electrolitul este o soluție de amoniac îngroșată cu făină de grîu sau de cartofi. Elementul produce o tensiune electromotoare de 1,5 V. Rezistența sa internă este de circa 0,1 Ω.

O deosebită importanță o prezintă în tehnica măsurării *elementul* tip *Weston* cunoscut și sub numele de *element normal*, deoarece prin stabilitatea tensiunii generate este utilizat exclusiv ca tensiune electromotoare etalon. Deși nu se utilizează niciodată ca sursă de tensiune, redăm în continuare

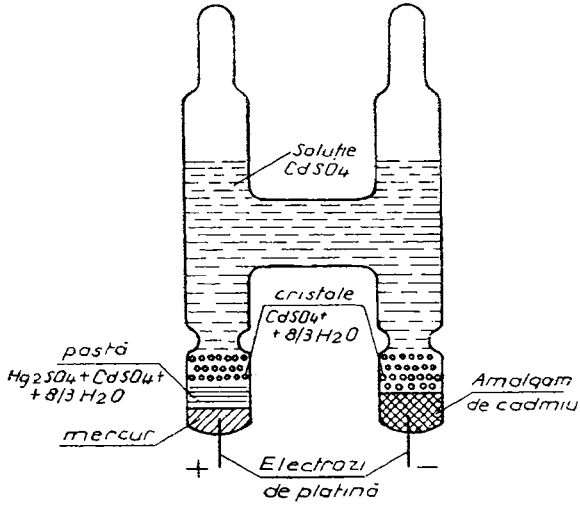


Fig. 1.1. Elementul normal Weston.

elementele sale constructive, strict necesare a fi cunoscute de cei ce lucrează în domeniul metrologiei.

Elementul normal Weston se compune dintr-un vas de sticlă în formă de H (fig. 1.1) ; în partea inferioară a fiecărei ramuri se află cîte un electrod de platină, care străbate peretele de sticlă.

Anodul este format din mercur, avînd deasupra o pastă depolarizantă alcătuită dintr-un amestec de sulfat mercuros (Hg_2SO_4) și cristale de sulfat de cadmiu $\left(CdSO_4 + \frac{8}{3}H_2O\right)$. Catodul este alcătuit din amalgam de cadmiu (cu 12% Cd). Deasupra anodului și catodului se găsește electrolitul, alcătuit dintr-o soluție de sulfat de cadmiu, care umple și puntea dintre brațele vasului.

Rezistența interioară a elementului este cuprinsă între 500 Ω și 1 000 Ω.

Elementele normale sînt de două tipuri, după cum soluția de sulfat de cadmiu este saturată sau nesaturată la temperatura de utilizare a elementului.

Elementele saturate spre deosebire de cele nesaturate au deasupra anodului și catodului un strat de cristale de sulfat de cadmiu care asigură saturația soluției.

Tensiunea electromotoare a unui element normal saturat are o valoare de 1,01865 V_{abs}, la temperatura mediului ambiant de 20°C.

Tensiunea electromotoare a elementelor normale Weston saturate variază cu temperatura într-un mod cunoscut cu precizie, ceea ce dă posibilitatea să se facă corecții pentru temperatura la care se lucrează. Variația cu temperatura este foarte mică ($\Delta E = -4 \cdot 10^{-5}$ V/grd), însă crește cu temperatura. La elementele normale nesaturate, tensiunea electromotoare variază mult mai puțin cu temperatura.

Utilizarea elementelor normale impune respectarea condiției ca să nu fie străbătute de curenți mai mari de 1 μA, pentru a evita deteriorarea. Rezistența internă a unui element normal Weston fiind în jur de 1 000 Ω, la curenți mai mari de 1 μA, abaterile tensiunii la borne față de tensiunea electromotoare normală devin inadmisibile. De aceea, elementele normale se pretează numai la montaje de compensare.

Etalonul de tensiune electromotoare al laboratorului trebuie să fie constituit din mai multe elemente Weston (20 de elemente), pentru mărirea preciziei.

Acumulatoare electrice. În esență acumulatoarele electrice sînt pile reversibile. Sînt surse electrochimice de curent ale căror substanțe active pot fi regenerate prin trecerea unui curent de sens contrar celui care se obține prin procesul electrodinamic. Energia electrică este acumulată în aceste elemente, în timpul procesului de încărcare (cînd acumulatorul este alimentat de la o sursă exterioară de curent continuu), sub formă de energie chimică. Această acumulare se realizează datorită formării, prin electroliză, a unor substanțe chimice deosebit de active pe plăcile acumulatoarelor.

În timpul descărcării, cînd acumulatorul este conectat în sarcină ca generator de curent, energia chimică se transformă în energie electrică prin procese electrochimice similare cu cele de la pilele electrice. Substanța activă de pe plăci se transformă în substanța inițială mai puțin activă.

Acumulatoarele sînt de două tipuri principale: acide și alcaline.

Acumulatoarele acide au electrozii de plumb. Electrolitul este constituit dintr-o soluție de acid sulfuric. Întreg ansamblul se dispune într-un vas de sticlă.

Rezistența internă este de ordinul sutimilor de ohmi. Capacitatea bateriilor utilizate în laboratoare este de ordinul 2 pînă la 10 Ah.

Acumulatoarele alcaline au electrozii constituiți din fier și nichel sau cadmiu și nichel. Pentru prima categorie electrolitul este hidroxid de nichel cu adaos de nichel metalic, iar pentru a doua este o soluție de hidroxid de potasiu cu un adaos redus de hidroxid de litiu.

Parametrii electrici ai acestor acumulatoare sînt inferiori celor de la acumulatoarele cu plumb.

Tensiunea în timpul descărcării este de aproximativ 1,3...1,2 V pe element și trebuie oprită la 1,15 V, iar în timpul încărcării este de 1,7...1,8 V.

Aceste acumulatoare sînt mult întrebuințate fiind foarte robuste. Necesită întreținerea mai ușoară decît cele acide, suportă mai ușor curenții mari de descărcare fără a se defecta, nu degajă vapori dăunători, au masă mai mică și suportă mai ușor șocurile mecanice.

Curentul pe care îl debitează un element de acumulator, indiferent de tipul său, depinde de suprafața plăcilor. Cînd este necesar să se mărească acest curent se leagă mai multe plăci în paralel.

Cînd este necesar să se obțină tensiuni mai mari decît tensiunea unui element se leagă mai multe elemente în serie.

Pilele și acumulatoarele au avantajul că sînt ușor transportabile, au rezistența internă mică, ceea ce face ca tensiunea la borne să fie practic constantă, atunci cînd variază curentul în sarcină. După trecerea unui timp însă, datorită fenomenului chimic de polarizare a electrozilor, rezistența internă crește considerabil, și deci tensiunea la borne începe să varieze. În această situație pilele trebuie înlocuite, iar acumulatoarele necesită încărcare.

Surse de curent continuu electronice. Transformarea curentului alternativ în curent continuu se poate realiza cu ajutorul unor dispozitive electronice denumite *redresoare*.

Elementele redresoare se pot clasifica în următoarele categorii :

- Semiconductoare. Din această categorie fac parte următoarele tipuri reprezentative : redresorul de cuproxid, cu seleniu, cu germaniu și cu siliciu.
- Electronice. Din această categorie fac parte tuburile electronice cu vid înaintat. Tipurile principale sînt : tubul electronic cu doi electrozi (dioda) și tubul electronic cu trei electrozi (trioda).
- Ionice sau cu gaze. Acestea sînt tuburi la care în spațiul dintre electrozi există gaze inerte (argon, neon, heliu) sau vapori de mercur.

Un dispozitiv de redresare conform destinației sale se montează între sursa de curent alternativ și consumatorul de curent continuu, pentru a transforma tensiunea alternativă a sursei de alimentare în tensiune continuă cerută de consumator.

Elementele de redresare se pot conecta în diverse scheme în cadrul dispozitivului de redresare, în funcție de tipul sarcinii și de natura curentului.

În practică se întîlnesc următoarele scheme de conectare a elementelor :

schema de redresare a unei singure alternanțe ;

scheme de redresare a ambelor alternanțe cunoscute în două variante :

schema cu priză mediană ;

schema în punte ;

scheme de multiplicare a tensiunii.

Aceste scheme pot fi utilizate atît în cazul redresării curenților monofazați, cît și în cazul redresării curenților polifazați. Se dau mai jos cîteva exemple de scheme electrice realizate pentru redresare.

În cazul în care este necesară o sursă de curent continuu de cîteva sute de miliamperi, la o tensiune de ordinul sutelor de volți, se poate realiza schema din fig. 1.2.

Tensiunea pulsatorie după filtrare poate fi considerată aproximativ continuă.

Tensiunea la ieșire poate fi variată în mod continuu dacă redresorul este alimentat printr-un autotransformator care

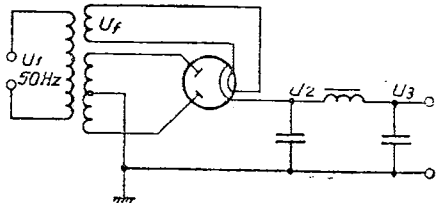


Fig. 1.2. Schema unei surse de curent continuu.

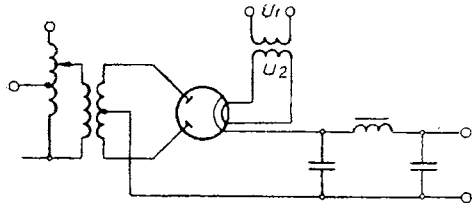


Fig. 1.3. Schema unei surse de curent continuu cu tensiunea de ieșire variabilă.

furnizează tensiune alternativă de amplitudine variabilă (fig. 1.3).

Dacă într-o schemă de măsurare este necesară o sursă de curent continuu care să furnizeze curenți de ordinul ampe-

rilor, la tensiune de ordinul zecilor de volți, se folosesc redresoare cu elemente semiconductoare (fig. 1.4), fără a fi însă exclusă utilizarea elementelor redresoare cu vid.

Redresoarele, ca orice sursă de curent continuu prezintă o rezistență internă a cărei valoare depinde de elementul

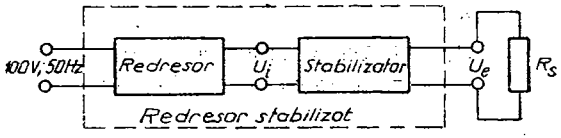


Fig. 1.5. Schema bloc a unui redresor stabilizat.

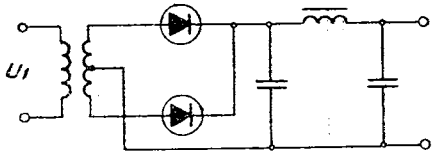


Fig. 1.4. Sursă de curent continuu cu elemente semiconductoare.

redresor utilizat. La redresoarele cu tuburi, rezistența internă este de ordinul miilor de ohmi, iar cele cu semiconductoare — de ordinul sutelor sau zecilor de ohmi. Această rezistență internă, de valoare mare, determină o importantă variație a tensiunii la bornele redresorului, atunci cînd curentul în sarcină variază.

Pentru îmbunătățirea performanțelor redresoarelor, acestea se stabilizează cu ajutorul unor montaje, care permit menținerea la ieșire a unei tensiuni sau a unui curent constant. În fig. 1.5 este indicată schema bloc (de principiu) a unui redresor stabilizat. Schema bloc de principiu a unui stabilizator este indicată în fig. 1.6. Stabilizatorul este constituit din două elemente principale: elementul D — detectorul, al cărui rol este de a sesiza variațiile tensiunii de la ieșire față de valoarea fixă dorită și elementul de control C, care este acționat de elementul detector în scopul de a corecta variațiile.

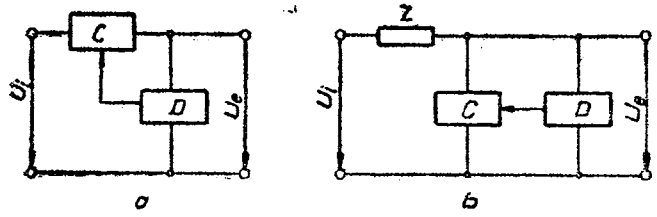


Fig. 1.6. Schema bloc a stabilizatorului :
a — tip serie ; *b* — tip derivație.

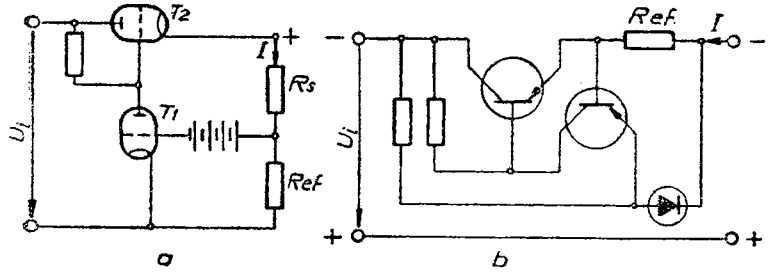


Fig. 1.7. Schema de principiu a stabilizatorului de curent :
a — cu tuburi ; *b* — cu tranzistoare.

Stabilizatoarele se pot clasifica după modul cum sînt dispuse aceste elemente sau din punct de vedere al funcționării, putînd fi stabilizatoare cu reacție și fără reacție (parametrice).

În unele cazuri este necesar ca valoarea curentului continuu să poată fi variată și menținută constantă la anumite valori, atunci cînd variază rezistența prin care aceasta circulă sau tensiunea alternativă de alimentare. Pentru aceasta, la ieșirea redresorului electronic se prevăd elemente sau montaje care stabilizează curentul și nu tensiunea.

În fig. 1.7 sînt indicate schemele de principiu ale montajelor cu stabilizatoare de curent, în cazul folosirii tuburilor (fig. 1.7, *a*) și respectiv în cazul folosirii tranzistoarelor (fig. 1.7, *b*).

În continuare se indică schemele cîtorva redresoare stabilizate.

Pentru realizarea unor măsurări de precizie se poate indica redresorul stabilizat Norma-Austria tip 45902, a cărui tensiune de ieșire este stabilizată. Factorul de stabilizare este cuprins între 0,01 și 0,005%/h, pentru variații ale tensiunii rețelei de 10%.

Tensiunea furnizată are valori între 200 și 821 V, reglabilă în trepte de 100 V printr-o claviatură și cu reglaj continuu în intervalul treptelor. Curentul maxim este de 300 mA.

O altă sursă ce se recomandă pentru lucrările de laborator este tipul STR-404 de 40 V — 4 A realizată de Întreprinderea de aparate electronice de măsură și industriale (IEMI-București). Aparatul furnizează o tensiune continuă stabilă și reglabilă.

Caracteristicile tehnice ale sursei sînt : tensiunea de ieșire reglabilă în trei trepte de 10 : 1 : 0,1 de la 0 la 40 V.

Precizia fixării tensiunii 2%. Curentul de sarcină 0...4 A. Coeficientul de stabilitate relativ $\geqslant$ 1 000. Variația tensiunii de ieșire cu temperatura $\leqslant$ 200 mV.

Tot de fabricație IEMI este și sursa dublă de tensiune stabilizată 2 STR-401 care furnizează o tensiune continuă reglabilă. Aparatul realizat în întregime cu dispozitive semiconductoare conține două surse separate, de la fiecare obținîndu-se tensiuni de la 0 la 40 V cu rezoluție de 0,1 V.

O variantă asemănătoare cu sursa dublă susmenționată se realizează de către Institutul de Fizică Atomică. Aparatul denumit Multistab 235 furnizează tensiuni în trei domenii și anume : 0—10 V, 10—20 V și 20—30 V, permițînd și folosirea lor concomitentă.

1.2.2. *Surse de curent alternativ*

Sursele de curent alternativ prezintă o mare varietate de tipuri pentru a putea acoperi gama largă de aparate de măsurat care trebuie să fie verificate. Sursele de curent alternativ pot fi clasificate după puterea lor, după domeniul de frecvență în care lucrează (joasă, medie, înaltă), precum și după principiul de funcționare.

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească aceste surse de alimentare sînt tensiunea la ieșire, cît mai stabilă și distorsiuni cît mai mici, precum și tensiuni cît mai simetrice în cazul surselor trifazate.

Rețeaua de curent alternativ. Cea mai răspîndită sursă de alimentare este rețeaua de curent alternativ 120/208 V sau 220 V/380 V, frecvența 50 Hz. Aceasta se poate utiliza la măsurări pentru care nestabilitatea ei nu are o influență prea mare.

Tensiunea rețelei are fluctuații variabile între —10... ...+5% și distorsiuni de circa 5...8%, care pot fi eliminate prin utilizarea stabilizatoarelor.

Stabilizatoarele de tensiune se conectează la rețeaua de curent alternativ (monofazat sau trifazat), obținîndu-se la ieșire o tensiune de valoare practic constantă.

Întreprinderea de aparate electronice și industriale produce surse stabilizate tip I 4201 de 1 000 VA, care utilizează tensiunea reglabilă între 210 și 230 V cu o precizie de reglaj de ±0,2% și o sursă similară tip I 4202 de 5 000 VA.

Generatoare de semnal. Aceste aparate constituie surse de energie alternativă pentru frecvențe diferite de 50 Hz. Generatoarele pot fi clasificate după forma și frecvența semnalului, după principiul de generare a oscilațiilor, precum și după performanțele obținute.

Dintre acestea, nu ne interesează decît sursele cu frecvențe mai mici de 20 kHz, deoarece se consideră că la frecvențe mari se depășește spectrul frecvențelor de lucru al aparatelor electrice.

În cazul frecvențelor sub 20 kHz se utilizează generatoare tip RC, care au performanțe bune pentru acest domeniu de frecvență.

În țară se fabrică, de către IEMI, generatorul tip E 0501, care furnizează tensiuni sinusoidale în intervalul 1 Hz... ...1 MHz cu distorsiuni între 0,5% și 2%, în funcție domeniul de frecvență.

Firma Ribet-Desjardins produce generatorul tip 406 B cu domeniul de frecvență cuprins între 20 Hz și 200 kHz, repartizat în patru domenii. Precizia lui de etalonare este de 1,5%, iar stabilitatea de 0,3%/h. Prezintă distorsiuni mai mici de 1%.

Generatorul tip 1003 al firmei Hatfield-S.U.A. lucrează în domeniul 30 Hz...30 kHz. Precizia acestui generator este de 1%, iar distorsiunile mai mici de 0,25%.

Un progres remarcabil în realizarea generatoarelor îl constituie generatoarele etalon de tensiune alternativă, care furnizează valori cunoscute și reglabile. Aceste generatoare asigură o mare precizie. Ele se compun de obicei dintr-un oscilator electronic, un amplificator, un divizor de tensiune inductiv sau rezistiv în decade, un element de transfer c.a — c.c și un sistem electronic sau electromecanic pentru menținerea tensiunii, la intrarea elementului de transfer, la o valoare dată.

Firma Rotek Instrument Corporation (S.U.A.) realizează generatorul tip 146 care produce orice tensiune la ieșire pînă la 511,110 V în trepte de 1 mV, cu o precizie de 0,035%, la frecvențele de 50, 60, 400, 1 000, 2 000 și 4 000 Hz și putere debitată de cel mult 10 VA. Factorul de distorsiune al tensiunii de ieșire este sub 0,015%

Un alt generator cu înalte performanțe este realizat de firma „Radio Frequency Laboratories" (Anglia), care are zece grame de tensiuni, fiecare divizată în 150 trepte de la 0...1,5 V (putere 2 VA), la 0...1 500 V (putere 15 VA). Frecvența de lucru este variabilă între 50 și 2 400 Hz. Precizia tensiunii de ieșire este de 0,05% pînă la 400 Hz și de 0,10% pentru frecvențe mai mari de 400 Hz.

1.3. Elemente de reglaj

1.3.1. *Reglarea curentului și tensiunii, continue și alternative monofazate*

Pentru realizarea unor scheme electrice, în vederea efectuării diverselor măsurări, este necesar să se acorde o deosebită atenție la alegerea elementelor de reglaj, care să permită modificarea unor mărimi electrice. În acest scop se vor indica metodele și mijloacele de reglaj cele mai des întrebuințate.

Reostatele sînt dispozitive de reglaj ce au o mare întrebuințare, atît în circuitele de curent continuu, cît și în cele de curent alternativ.

Reostatele cele mai utilizate în laboratoare sînt de fabricație IS Electrotehnica București și Metra — CSR. Un set de rezistențe cuprinde în general 22 bucăți cu valori cuprinse între $2 \times 1{,}46\ \Omega$ (20 A) și $2 \times 23\,400\ \Omega$ (0,16 A).

Transformatoarele și autotransformatoarele sînt aparatele cele mai des utilizate pentru reglarea curentului și tensiunii în curent alternativ. Cea mai largă răspîndire o au:

autotransformatoarele reglabile;

transformatoarele ridicătoare de tensiune;

transformatoarele coborîtoare de tensiune.

Autotransformatoarele sînt utilizate pentru reglajul tensiunii și curentului alternativ.

Reglarea tensiunii cu autotransformatorul se poate realiza fără consum de putere activă sau reactivă. Utilizarea autotransformatorului permite:

reglarea în trepte;

reglarea continuă.

•Reglarea în trepte. Realizarea unui astfel de autotransformator impune cîteva precauții și anume: în scopul de a nu se întrerupe legătura cu sarcina și pentru a acoperi două ploturi simultan, peria este alcătuită din două părți, una principală și alta secundară, legate între ele printr-o rezistență de valoare mică R. Prin acest procedeu, spirele dintre două ploturi nu vor fi scurtcircuitate cînd periile vor călca simultan pe două ploturi alăturate, în timpul reglării tensiunii.

•Reglarea continuă. Un asemenea autotransformator este constituit dintr-un miez toroidal din tole de oțel, pe care este dispusă înfășurarea executată din sîrmă de cupru. În partea interioară se poate deplasa un contact de cărbune, de-a lungul unei fîșii înguste a conductoarelor, curățate de izolație. Pentru puteri mai mari de 5 kVA, circuitul magnetic se realizează sub formă de coloane.

Autotransformatoarele cele mai recomandate pentru laboratoare sînt cele de fabricație IIS Electrotehnica tip ATR-8, 8 A/$1/_2$ h; 120...220 V.

Transformatoarele de tensiune cu prize multiple. Pentru a ușura procesul de verificare pentru voltampermetre, este indicat un transformator a cărui schemă este redată în fig. 1.8.

Caracteristicile sale tehnice principale sînt:

tensiunea primară nominală: 100 V, 50 Hz (valoarea maximă 1,2 Un);

tensiunile secundare: 0,3 V; 1 V; 3 V; 6 V; 10 V; 15 V;

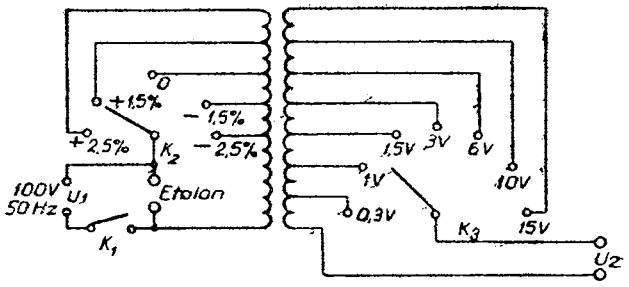


Fig. 1.8. Transformatorul pentru verificat voltampermetre.

sarcina maximă în secundar :

6 mA pentru clasa de precizie 0,2 ;
30 mA pentru clasa de precizie 0,5 ;
60 mA pentru clasa de precizie 1.

Acest transformator nu are numai rol de reglaj, el putînd fi utilizat și la verificarea directă și rapidă a valorilor maxime de scară, la voltampermetre.

1.3.2. *Reglarea tensiunii alternative în rețelele polifazate*

În rețelele trifazate, reglarea tensiunii se poate face cu ajutorul reostatelor și inductanțelor.

Reglarea tensiunii cu ajutorul reostatelor este utilizată în cazul puterilor mici preluate de sarcină, deoarece reglarea se face cu pierdere de energie activă.

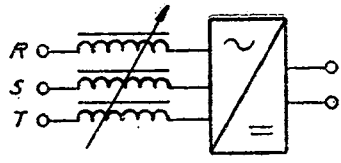


Fig. 1.9. Reglarea tensiunii alternative cu inductanțe.

Reglarea cu ajutorul inductanțelor variabile (fig. 1.9) este mai economică, evitîndu-se consumul de energie activă ; puterea reactivă se mărește.

1.3.3. *Reglarea fazei*

Se face cu ajutorul unor dispozitive cunoscute sub numele de *decalatoare de fază*. Foarte mult întrebuințate în tehnica măsurării la verificarea instrumentelor de măsurat, acest dispozitiv se poate realiza pe baza mai multor principii și se utilizează în funcție de necesități.

Cele mai vechi sînt defazoarele numite și *regulatoare de inducție* de tip motor asincron cu rotorul calat, care se fabrică în țara noastră la I. S. Electrotehnica București și I. S. Electromotor Timișoara. Ele permit un reglaj continuu între 0° și 360° cu amplitudine constantă.

Pentru diferite utilizări specializate se pot recomanda scheme de decalare care pot fi ușor confecționate în scopul realizării diverselor scheme de măsurare.

Transformatorul cu priză mediană (fig. 1.10) în care reglarea fazei U_s se obține variind valoarea rezistenței R și deci a tensiunii U_R (fig. 1.10).

Montajul poate fi executat fie cu ajutorul inductanței, în care caz se obține un decalaj reglabil între 0° și 180°, fie

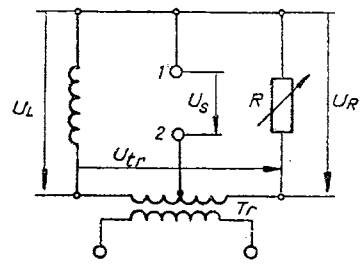


Fig. 1.10. Defazor cu transformator cu priză mediană.

cu ajutorul unei capacități obținîndu-se posibilitatea de decalaj între 180° și 360°.

Rezistența electrică bobinată pe un suport ceramic în formă de tor alimentată de la o rețea trifazată în trei puncte decalate la 120°.

Tensiunea defazată este culeasă de două cursoare diametral opuse care culisează pe periferia torului. Cu această rezistență se realizează un decalaj cu variație continuă în intervalul 0...360°.

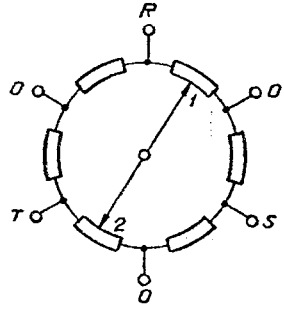


Fig. 1.11. Realizarea reglajului fazei cu rezistențe prin alimentarea în 3 puncte și zero a rețelei.

O îmbunătățire a schemei de mai sus s-a făcut prin alimentarea montajului nu numai la cele 3 faze, ci și la punctul zero al rețelei (fig. 1.11).

Autotransformatoarele trifazate duble alimentate de la două sisteme trifazate separate (fig. 1.12, *a* și *b*). În cazul în care toate cursoarele se deplasează uniform, se poate asigura o defazare cursivă cu amplitudine constantă conform diagramei vectoriale din fig. 1.12, *b*.

Transformatoarele alimentate de la o rețea trifazată de la care se culeg diverse tensiuni ce se combină pentru a se obține vectorii decalați după necesități.

Pentru exemplificare, în fig. 1.13, *a* și *b*, se dau schemele electrice și diagramele de funcționare respective ale defazoarelor monofazate, iar în fig. 1.14 fotografia unuia din defazoarele trifazate.

Alte dispozitive de reglaj auxiliare sînt prezentate în [11, 21].

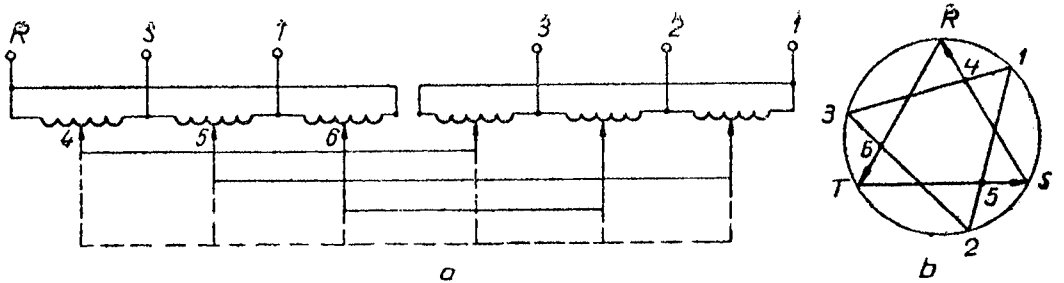


Fig. 1.12. Realizarea reglajului fazei cu autotransformatoare trifazate duble :
a — schema electrică ; *b* — diagrama vectorială.

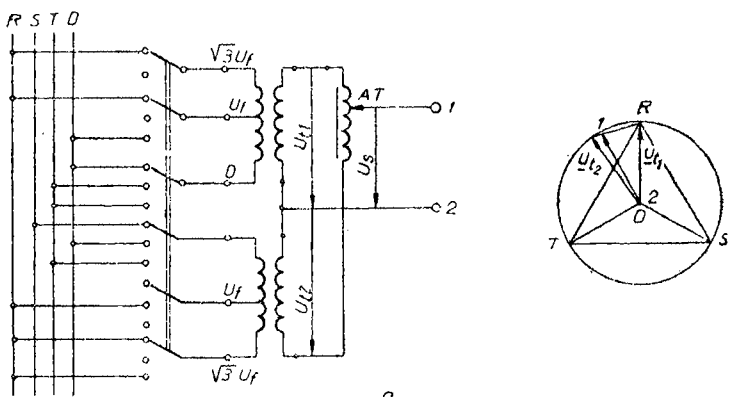


Fig. 1.13. Schemele electrice ale defazoarelor monofazate statice cu diagramele vectoriale corespunzătoare :
a — schemă cu două transformatoare ;

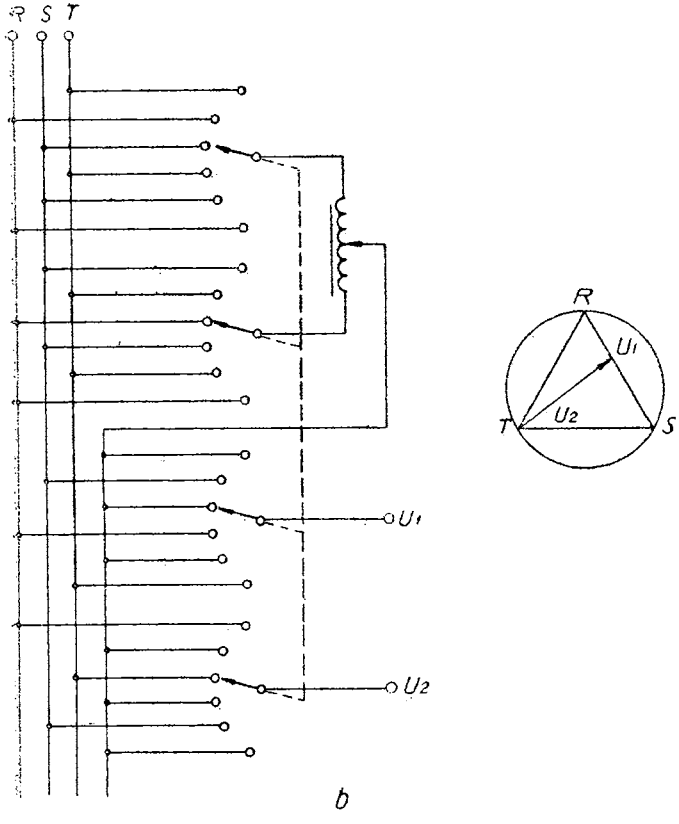


Fig. 1.13

b — schema cu autotransformator.

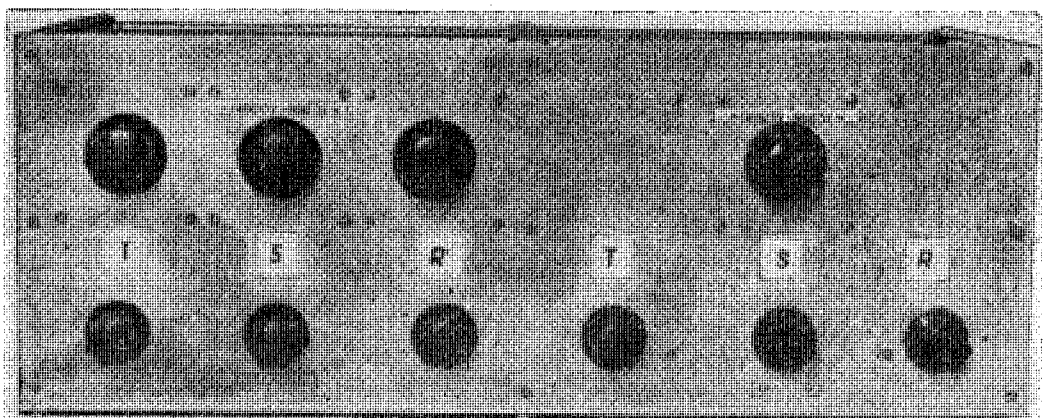


Fig. 1.14. Panoul frontal al unui dispozitiv trifazat de defazare și simetrizare.

1.4. Aparate folosite în schemele de măsurare

1.4.1. *Rezistențe etalon și rezistențe decadice*

Rezistențele etalon se construiesc din materiale conductoare care trebuie să aibă următoarele proprietăți: rezistivitate mare, coeficient de temperatură mic, tensiunea termoelectromotoare la contactul cu diferite materiale (în special cu cuprul din care se execută obișnuit conductoarele de legătură) mică și să fie inoxidabil.

Rezistențele etalon se construiesc exclusiv din fire sau benzi de manganină. Rezistențele se află închise în cutii de protecție (metalice sau bachelită) care au un cap izolant în care se află cele patru borne și anume bornele cu I—I pentru introducerea bobinei în circuitul de curent și bornele notate cu U—U pentru măsurarea tensiunii aplicate bobinei.

Valorile rezistențelor etalon sînt cuprinse între 10^4 și 10^{-4} Ω. Pentru ca rezistențele etalon să poată fi utilizate sub curenți mai mari pentru evitarea fluctuațiilor de temperatură, în cazul măsurărilor de mare precizie, se introduc într-o baie de petrol sau de ulei.

În laboratoare, pentru măsurările curente se folosesc „cutii de rezistențe", care pot fi cu fișe sau cu ploturi. Cu aceste cutii de rezistențe se pot obține rezistențele de valori reglabile în trepte.

Rezistențele din aceste cutii se realizează tot din sîrme sau benzi de manganină.

Precizia lor de etalonare este în general de 0,01%, 0,02% sau 0,05%.

Pentru a putea varia rezistența fără a întrerupe curentul, operație care în cazul rezistențelor cu fișe este obligatorie, precum și pentru ca manevrarea rezistențelor să se facă mai comod, se construiesc cutii de rezistență în decadă cu manetă.

Pentru a nu se deteriora, prin supraîncălzire, cutiile de rezistențe nu trebuie încărcate peste 1...2 W.

Se dau în continuare cîteva exemple de tipuri de cutii de rezistențe cu o largă întrebuințare în laboratoare.

Dintre cele mai utilizate sînt decadele de fabricație R.D.G. tip Mellenbach cu posibilități de reglare 10(1 + 10 + 100 + + 1 000) Ω sau 10 × (0,1 + 1 + 10 + 100 + 1 000) Ω de precizie de 0,5% și respectiv 0,2%. De asemenea, se mai utilizează decade de rezistență de tipul TR 9403 R.P.U., care au posibilități de reglaj între 0,1 Ω și $1{,}22 \cdot 10^6$ Ω, cu o precizie mai bună de 1%. Permite măsurări în curent continuu și în curent alternativ pînă la 160 kHz.

Firma Sullivan — S.U.A. realizează cîteva tipuri de decade de rezistență de precizie ridicată, cum ar fi: decadele de rezistențe pentru curent continuu și curent alternativ pînă la 100 kHz, cu precizie de 0,05%, din seria 43280 care se realizează cu 3, 4 sau 5 decade după cum este necesară valoarea rezistenței. Se realizează tipuri de decade pentru rezistențe între 0,05 Ω și 10 000 Ω.

Tot această firmă realizează decade de tipul 1049, care pot cuprinde rezistențe în domeniul 0,01 Ω și 1 MΩ. Precizia acestor decade este de 0,05%. Aceste rezistențe se realizează în 5 variante cu cîte 4 decade fiecare, pentru a asigura domeniul de măsurare mai sus indicat.

1.4.2. *Etaloane de inductivitate proprie și mutuală*

Ca etaloane de inductivitate proprie se folosesc bobine, a căror inductanță este constantă. Acestea au formă plată și se confecționează din conductor de cupru izolat și înfășurat pe carcase din materiale izolante de calitate superioară (porțelan, marmură etc.).

Bobinele trebuie să aibă în afară de o inductanță constantă și o rezistență activă cît mai mică.

Pentru a micșora cîmpul magnetic extern, bobinajul se realizează într-un mod special la inductanțe și anume se fac bobinaje de tip toroidal sau în dublu D (fig. 1.15, *a* și *b*).

La realizarea inductanțelor etalon trebuie să se micșoreze la minimum capacitățile parazite ce apar între spirele bobinei. Aceasta se realizează prin mărirea distanței dintre spire și straturi, precum și prin micșorarea numărului de spire de pe fiecare strat.

Etaloanele de inductivitate trebuie să aibă o variație cît mai mică a inductivității cu valoarea și frecvența curentului ce parcurge înfășurarea, un coeficient de temperatură cît mai mic și o stabilitate în timp.

Etaloanele de inductivitate se realizează de valorile 10^{-4}...10 H cu precizie ce nu depășește $\pm 0{,}1\%$.

Etaloanele de inductivitate mutuală se fabrică la fel ca și etaloanele de inductivitate proprie cuprinzînd însă două

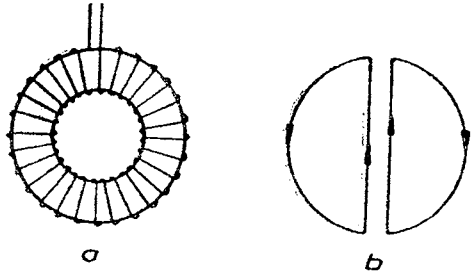


Fig. 1.15. Tipuri de bobinaje :
a — toroidal ; *b* — în dublu D.

înfășurări pe aceeași carcasă. Ele se pot realiza fixe sau variabile.

Firma Sullivan-S.U.A. realizează o serie de inductanțe de tipul 1900 pentru domeniul 1 μH...1 H, cu o precizie de 0,01%, de asemenea o decadă de inductanță tip R 4000 de precizie 0,1%, pentru inductanțe variabile pînă la 11,11 H.

1.4.3. *Etaloane de capacitate*

Ca măsuri etalon de capacități se folosesc condensatoare etalon cu valoare unică sau cu valori multiple.

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească condensatoarele etalon și care să asigure precizia și stabilitatea în timp sînt :

— dimensiuni de gabarit mici, pentru a micșora capacitățile parazite ;

— stabilitatea parametrilor geometrici ;

— pierderi în dielectric cît mai mici ;

— rezistență de izolație foarte mare (suporții condensatoarelor trebuie să se facă din cuarț topit sau stiroflex).

Pentru a reduce pierderile se utilizează ca dielectric aerul sau mica.

Valoarea nominală a condensatorului este dată de obicei la temperatura de 20°C și frecvența de 800 Hz. Clasa de precizie a condensatoarelor etalon este de 0,1%.

Condensatoarele etalon variabile sînt alcătuite din două armături, una fixă stator și una mobilă rotor, fixate pe un ax ce se poate roti. Valoarea capacității se citește pe o scară gradată.

Ca exemplu de realizare indicăm decada de capacități a firmei Sullivan — S.U.A. tip C 8700 de precizie 0,1%, avînd posibilități de reglaj pînă la 1,111 μF și capacitățile de precizie din seria 8000 de valoare unică : 1 pF, 10 pF ; 100 pF ; 1 000 pF ; la 1 kHz.

Precizia acestora este de ±0,01%.

1.4.4. *Aparate pentru măsurarea elementelor de circuit*

Un loc deosebit în dotarea laboratoarelor îl ocupă și aparatele cu ajutorul cărora se pot măsura parametrii circuitelor și anume R, L, C, M.

După cum se cunoaște, măsurările se pot executa după metode ce se pot clasifica astfel : metode cu citire directă sau indirectă și metode de comparație care pot fi metode de zero, diferențiale și de substituție.

Măsurările pentru elementele de circuit se pot realiza în laboratoare, în funcție de mărimea de măsurat și de etaloanele existente, prin scheme care să se bazeze pe una din metodele de mai sus sau să se utilizeze instrumente care să fie confecționate special pentru măsurarea elementelor.

Măsurarea rezistențelor în curent continuu se poate realiza direct cu ajutorul ohmmetrelor. Acestea pot fi realizate cu schemă de măsurare în serie și paralel.

De obicei ohmmetrele se compun dintr-o sursă de curent continuu și un aparat indicator magnetoelectric.

Ohmmetrele cu montaj în paralel se folosesc pentru măsurarea rezistențelor de valoare mică, iar cele cu montaj în serie, pentru măsurarea rezistențelor de valoare mare, de ordinul megohmilor.

Sursa de alimentare a megohmmetrelor, cunoscute și sub denumirea de meggere, trebuie să furnizeze o tensiune mult mai mare decît a ohmmetrelor, care este de 1,5...4,5 V, și anume de valori ce pot atinge mii de volți. Megohmmetrele pot avea un generator de curent continuu care furnizează tensiunea înaltă și care poate fi acționat manual din exterior. Tensiunea continuă poate fi obținută și de la un generator de tensiune alternativă, care apoi este redresată.

O largă categorie de instrumente de măsurat pentru determinarea rezistențelor în curent continuu se bazează pe metode de comparație indirecte, cum ar fi de exemplu, prin comparație, substituție, opoziție, metode de zero sau diferențiale; acestea sînt: punțile și compensatoarele echilibrate și neechilibrate.

Din metodele enumerate cele mai întrebuințate sînt cele de punte.

Metodele de punte fiind metode de zero au o sensibilitate și precizie mare de măsurare, nefiind influențate de etalonarea aparatului de zero și de variațiile sursei de alimentare. Cele mai întrebuințate punți pentru măsurarea rezistențelor în curent continuu sînt puntea Wheatstone pentru măsurarea rezistențelor cuprinse între 1 Ω și 1 MΩ și puntea dublă Thomson pentru rezistențe foarte mici, sub 1 Ω pînă la 10^{-6} Ω.

În fig. 1.16 este prezentată schema de principiu a punții Wheatstone.

Din condiția de echilibru se poate determina rezistența necunoscută

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} = R_3.$$

Realizările constructive ale punților sînt diferite. Punțile de precizie se construiesc cu raport constant și rezistența de comparație variabilă.

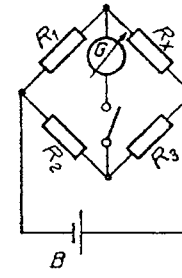


Fig. 1.16. Schema punții Wheatstone.

O variantă a punților Wheatstone o reprezintă punțile procentuale destinate măsurării abaterii valorilor unui număr mare de rezistențe față de valoarea lor nominală. Această abatere se obține direct în procente.

Pentru măsurarea rezistențelor de valori mici se folosesc punțile duble Thomson, în care se elimină influența rezistențelor contactelor și conductoarelor de legătură asupra circuitului de măsurare, prin plasarea lor într-un circuit auxiliar.

În fig. 1.17 este indicată schema de principiu a punții duble Thomson.

La echilibrul punții dacă se realizează $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ valoarea rezistenței necunoscute se va determina cu relația $R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$.

Condiția $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ se obține prin realizarea constructivă a egalității rezistențelor R_1 și R_3, respectiv R_2 și R_4. Raportul brațelor $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ poate fi realizat constant sau variabil.

Constructiv, au fost realizate punți combinate și anume o punte Wheatstone și o punte Thomson, care permit măsu-

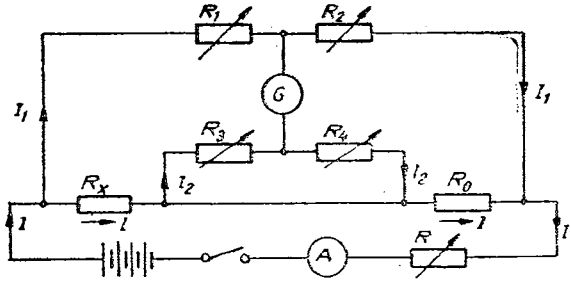


Fig. 1.17. Schema punții duble Thomson.

rarea de rezistențe cu valori cuprinse între 10^{-6} Ω și 10^6 Ω.

Măsurarea rezistenței în curent continuu se poate realiza și pe baza metodelor cu citire indirectă și anume prin *metoda voltampermetrică* în montaj aval pentru rezistențe mici

$10^{-1}...10\ \Omega$, sau în montaj ampont pentru măsurarea rezistențelor mari de ordinul $10...10^4\ \Omega$. În erorile de determinare a rezistenței necunoscute intervin și erorile relative ale instrumentelor, deci metoda este mai puțin precisă; totuși această metodă este mult utilizată deoarece nu necesită instrumente speciale pentru măsurarea rezistențelor.

Măsurarea rezistenței prin *metoda de compensație* permite determinarea cu precizie a rezistențelor electrice prin măsurarea căderii de tensiune la borne. Rezistența de măsurat se leagă în acest caz într-un circuit auxiliar (fig. 1.18) în serie cu o rezistență etalon R_0 (de același ordin de mărime cu R_x) și cu o baterie de alimentare E_1.

Curentul din circuitul auxiliar trebuie să aibă o valoare constantă și să nu depășească valoarea admisibilă pentru cele două rezistențe.

Cele două rezistențe R_x și R_0 sînt conectate pe rînd la bornele montajului de compensație și astfel se măsoară căderile de tensiune U_x și U_0, din care se obține $R_x = R_0 \dfrac{U_x}{U_0}$.

Măsurarea impedanțelor. În curent alternativ, se definește noțiunea de impedanță Z pentru un consumator ca raportul dintre valorile maxime sau efective ale tensiunii la borne ale

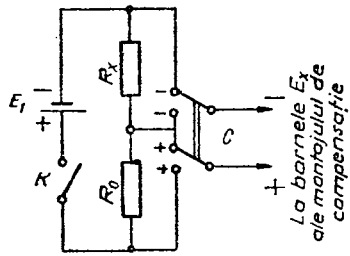


Fig. 1.18. Schema de măsurare a rezistențelor prin metoda de compensație.

consumatorului și curentul absorbit de acesta. Expresia impedanței este $\underline{Z} = R + jX$ sau $\underline{Z} = Ze^{j\varphi}$.

Deci pentru ca Z să fie determinat trebuie să se cunoască rezistența R și reactanța X, adică frecvența f, inductivitatea L sau capacitatea C.

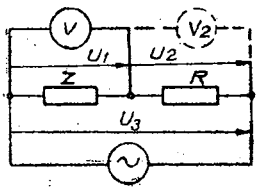


Fig. 1.19. Schema de măsurare a impedanței prin metoda de comparație.

Rezistențele, inductivitățile și capacitățile sînt elemente de circuit, care în curent alternativ nu au valori constante, ci depind de frecvența la care se face măsurarea.

Măsurarea prin *metoda de citire indirectă* și anume *metoda voltampermetrică* poate fi utilizată și pentru măsurarea impedanțelor Z. Această metodă se folosește de exemplu pentru măsurarea inductanței bobinelor cu un montaj identic cu cel întîlnit la rezistență. Dacă se măsoară rezistența r a bobinei în curent continuu, valoarea inductanței proprii este dată de expresia

$$L\omega = \sqrt{Z^2 - r^2}.$$

Metoda de comparație poate fi utilizată pentru determinarea impedanței utilizînd schema din fig. 1.19.

Se alimentează impedanța Z, care este în serie cu o rezistență cunoscută, și se măsoară tensiunea U_1 la bornele impedanței, U_2 la bornele rezistenței și U_3 tensiunea totală. Deci :

$$I = \frac{U_1}{Z} = \frac{U_2}{R} = \frac{U_3}{Z + R};$$

$$Z = \frac{U_1}{U_2} R.$$

Din diagrama vectorială (fig. 1.20) se obține

$$\cos \varphi = \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}.$$

Se vede că : $R = Z \cos \varphi$;
$X = Z \sin \varphi$.

Dacă rezistența R este variabilă, se modifică pînă cînd $U_2 = U_1$, în acest caz $Z = R$

$$\cos \varphi = \frac{U_3^2 - 2U_1^2}{2U_1^2} = \frac{U_3^2}{2U_1^2} - 1, \text{ unde } \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{U_3}{2U_1}.$$

Metoda se folosește pentru măsurarea inductanțelor mutuale (fig. 1.21).

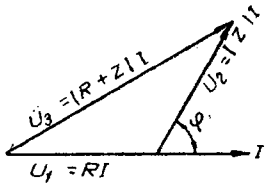


Fig. 1.20. Diagrama vectorială pentru măsurarea impedanțelor.

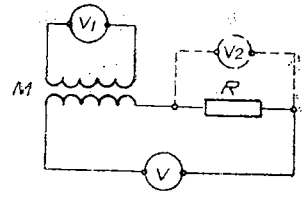


Fig. 1.21. Schema de măsurarea inductanței mutuale prin metoda de comparație.

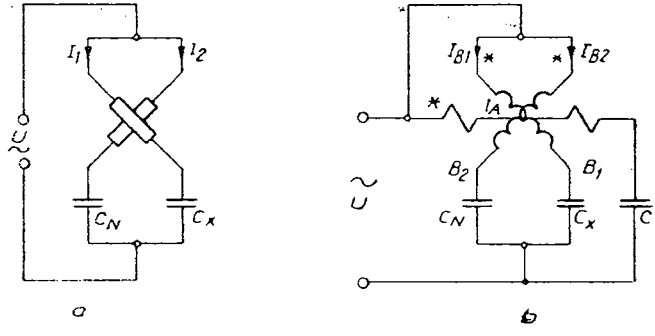
$$U_1 = M\,\omega\,I$$

$$U_2 = RI$$

$$M = \frac{R}{\omega} \cdot \frac{U_1}{U_2}$$

De asemenea, această metodă este utilizabilă și pentru măsurarea condensatoarelor chimice.

Măsurarea *prin metoda de citire directă* are aplicații la măsurarea capacității. Aceasta se realizează cu aparate speciale numite *faradmetre*, care sînt similare cu ohmmetrele, însă au tensiunea de alimentare alternativă. Faradmetrele au ca aparat indicator logometre feromagnetice și electrodinamice (fig. 1.22, *a*, *b*).



a *b*

Fig. 1.22. Scheme de faradmetre:
a — cu aparat indicator feromagnetic; *b* — cu aparat indicator electrodinamic.

Deviația permanentă a logometrului este $L_v = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$.

Neglijînd impedanțele bobinelor în raport cu reactanțele condensatoarelor, se poate scrie:

$$I_1 = U\omega C_x;$$

$$I_2 = U\omega C_0, \text{ deci } \alpha_p = f\left(\frac{C_x}{C_0}\right).$$

Dacă C_0 este o capacitate fixă, instrumentul poate fi gradat direct în unități de măsură a capacității C_x. Dacă C_0 este variabil, în trepte, se pot realiza mai multe domenii de măsurare pentru faradmetre.

Metodele de comparație și anume metodele de zero au o largă întrebuințare pentru măsurarea impedanțelor prin realizarea constructivă a unei mari varietăți de punți de măsurare datorită avantajelor pe care le prezintă.

Puntea Wheatstone este utilizată în curent alternativ avînd cele 4 brațe constituite din patru impedanțe.

În domeniul de audiofrecvență (pînă la 20 kHz), sursa de alimentare a punții este un generator de tensiune și ca detector utilizează un voltmetru electronic, un osciloscop, un difuzor pentru frecvențe de 300 la 6 000 Hz, sau un galvanometru de vibrații în cazul măsurărilor la 50 Hz.

În cazul măsurărilor de înaltă frecvență, se utilizează drept sursă de alimentare un generator de înaltă frecvență și ca detector un amplificator de tip heterodină și un difuzor.

La echilibru, utilizînd notațiile vectoriale, obținem:

$$\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} = \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_4}, \text{ deci}$$

$$\underline{Z}_1\underline{Z}_4 = \underline{Z}_2\underline{Z}_3, \text{ de unde}$$

$$Z_1Z_4 = Z_2Z_3 \text{ (condiție de modul)}$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \text{ (condiție de fază)};$$

în care Z_1, Z_2, Z_3 și Z_4 sînt modulele impedanțelor, iar φ_1, φ_2, φ_3 și φ_4 defazajele curenților față de tensiune în brațele corespunzătoare.

Punțile de audiofrecvență se realizează astfel:

— un braț este impedanța necunoscută ($\underline{Z}_x = R_x + jX_x$);

— două brațe sînt realizate din rezistențe pure reglabile (10 Ω — 100 Ω — 1 000 Ω — 10 000 Ω);
— un braț este realizat de impedanța $Z_e = R_e + jX_e$.

Echilibrul punții se poate obține în trei situații, care rezultă din conectarea impedanței Z_e într-unul din cele trei

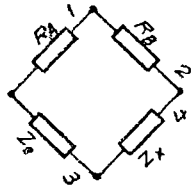


Fig. 1.23. Schema de principiu a punții la care impedanța etalon este într-un braț alăturat impedanței necunoscute.

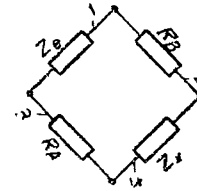


Fig. 1.24. Schema de principiu a punții la care impedanța etalon este într-un braț opus impedanței necunoscute.

brațe ce rămîn disponibile prin conectarea în brațul al patrulea a impedanței Z_x.

A. Impedanța etalon Z_e conectată într-un braț alăturat impedanței necunoscute (fig. 1.23). La echilibru în acest caz se obține

$$\frac{X_x}{X_e} = \frac{R_B}{R_A} > 0.$$

Deci cînd impedanțele sînt conectate în brațele alăturate ambele reactanțe trebuie să aibă același semn, deci sînt de același fel sau inductanțe sau capacități. Se obțin astfel tipurile de punți de la pozițiile 1, 2, 3, 4 din tabelul 1.1.

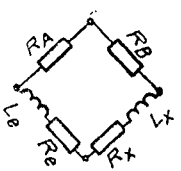
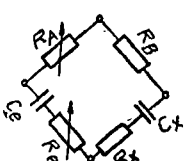
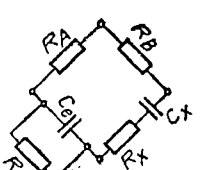
B. Impedanța etalon Z_e este conectată în brațul opus impedanței necunoscute Z_x (fig. 1.24). În acest caz la echilibru, așa cum se poate vedea în detaliu în lucrarea [4] se obține

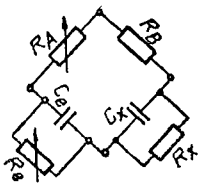
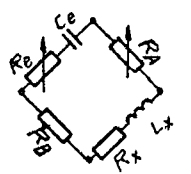
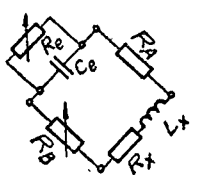
$$R_x X_e = R_e X_x, \text{ deci } \frac{X_e}{X_x} < 0.$$

Deci în acest caz reactanța X_e trebuie să fie de semn contrar lui X_x, ceea ce înseamnă că dacă una este reactanță inductivă, cealaltă obligatoriu trebuie să fie capacitivă.

Pe acest principiu sînt construite tipurile de punți reprezentate la pozițiile 5—6 din tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Nr. crt.	Montaj	Schema punții	Echivalentul impedanței Z_x	Natura impedanței măsurate
1.	Sauty		$L_x = \frac{R_B}{R_A} L_e$; $R_x = \frac{R_B}{R_A}(R_e + R^*)$ $Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{\omega L_e}{R_e} = Q_e$ *)Rezistența proprie a bobinei	Se măsoară inductanțele
2.	Sauty		$R_x = \frac{R_B}{R_A} R_e$; $C_x = \frac{R_A}{R_B} C_e$ factorul de disipație : $\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x = \omega C_x R_e = \Delta_e$	Se măsoară capacități a căror rezistență este mică
3.	Wien		$R_x = \frac{R_A}{R_B} \cdot \frac{R_e}{1 + R_e^2 C_e^2 \omega^2}$ $\frac{1}{C_x} = \frac{R_A}{R_B} \frac{R_e^2 C_e}{1 + R_e^2 C_e^2 \omega^2}$ $\varphi = -\operatorname{arc\,tg} R_e C_e \omega$	Se măsoară condensatoare cu pierderi mari

4.	Nerst		$R_x = \frac{R_B}{R_A} R_e \qquad C_x = \frac{R_A}{R_B} C_e$ $\operatorname{tg} \varphi = Q_x = \omega C_x R_x = \omega C_e R_e = Q_e$	Se măsoară condensatoare cu pierderi mari sau rezistoare cu capacitate mare în paralel
5.	Hay		$L_x = \frac{R_A R_B}{1 + \Delta_e^2} C_e \quad R_x = \frac{R_A R_B}{R_e(1 + Q_e^2)}$ $Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{1}{\omega C_e R_e} = Q_e = \frac{1}{\Delta e}$	Se măsoară inductanțe cu factor de calitate mare
6.	Maxwell		$L_x = R_A R_B C_e ; \quad R_x = \frac{R_A R_B}{R_e}$ $Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_e R_e$	Se măsoară inductanțe cu factor de calitate mic

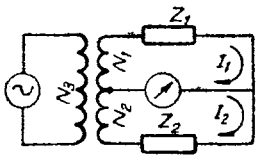


Fig. 1.25. Schema de principiu a unei punți diferențiale.

C. Inductanța Z_e este conectată în brațul 3 al punții. Acest caz coincide cu primul caz, dacă diagonala detector se schimbă cu diagonala în care se află sursa de alimentare.

O altă categorie de punți mult folosite sînt punțile diferențiale (fig. 1.25).

Dacă impedanțele au valori mari ele se montează în paralel. Puntea se echilibrează o dată fără impedanța necunoscută și o dată cu această impedanță montată. Din cele două citiri se determină admitanța.

Dacă impedanța de măsurat este de valoare mică ea se conectează în serie în brațul etalon. Măsurarea se face de asemenea în două etape.

Cu acest tip de punte se pot măsura capacități pînă la 20 000 pF, rezistențe între 10 Ω și 10 MΩ și printr-o metodă de rezonanță se pot măsura și inductanțele care intră în rezonanță cu capacitate C_1 la frecvențele cuprinse între 15 kHz și 20 MHz, domeniu în care lucrează puntea.

De menționat, că orice punte, la care în condiția de echilibru intervine frecvența, poate fi utilizată pentru determinarea frecvenței de lucru.

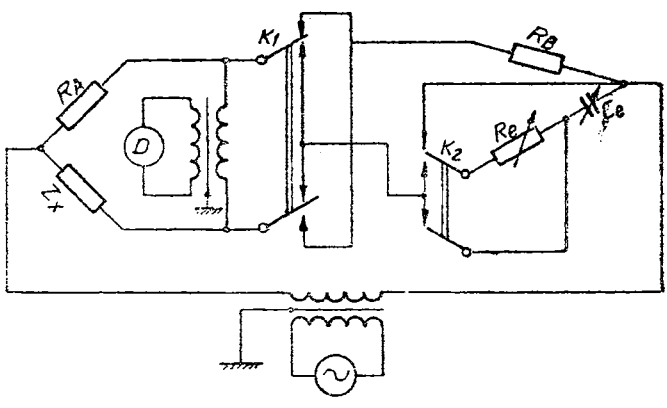


Fig. 1.26. Schema de principiu a punții universale.

Se dă ca exemplu schema de principiu a unei punții universale de măsurare, care și-a găsit o largă utilizare la măsurările de laborator (fig. 1.26).

Puntea universală permite ca printr-o comutare ușoară să se realizeze cîteva tipuri din punțile fundamentale și astfel să fie efectuate măsurări multiple.

1.4.5. *Osciloscoapele catodice*

Osciloscopul este un aparat care permite vizualizarea pe un ecran a curbelor reprezentative ale unui fenomen fizic. Elementele principale ale osciloscopului (fig. 1.27) sînt prezentate în cele ce urmează :

Tub catodic, care are în interior două perechi de plăci perpendiculare, ceea ce permite reprezentarea pe ecranul tubului a unei funcții de o variabilă sau cu ajutorul unor montaje speciale, de două variabile independente.

Amplificatoare care au rolul de a amplifica semnalele electrice ce au o amplitudine insuficientă pentru a provoca o deflexie apreciabilă. Există două amplificatoare, cîte unul pentru fiecare pereche de plăci.

Amplificatorul pentru deviația verticală se află între semnalul de studiat și plăcile de deviație verticală. Amplifi-

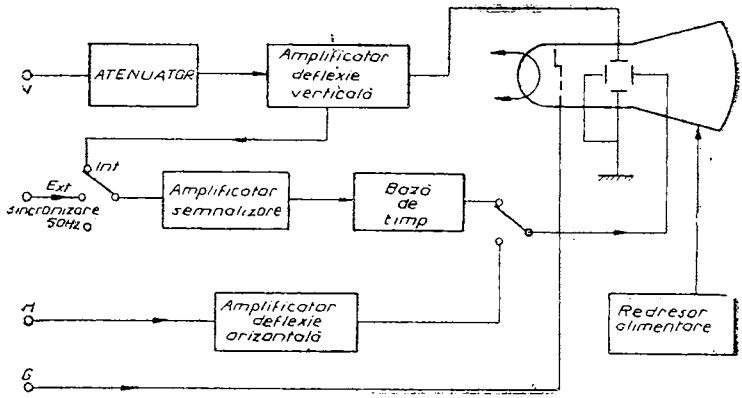


Fig. 1.27. Schema bloc a osciloscopului catodic.

catorul de deviație orizontală, printr-un comutator, permite înscrierea lui între baza de timp sau semnalul exterior și plăcile de deflecție orizontală.

Generatorul de baleiaj sau baza de timp. Atunci cînd funcția de vizualizat este funcție de timp, este necesar să se aplice pe plăcile de deflexie orizontală o tensiune proporțională cu timpul, avînd forma unor dinți de fierăstrău, care este produsă de generatorul de baleiaj.

Generatorul de baleiaj are și dispozitive de sincronizare a bazei de timp care asigură raportul necesar între frecvența tensiunii de baleiaj și frecvența semnalului de studiat, cînd acesta este periodic în timp.

Alimentarea necesară elementelor enumerate mai sus. Tensiunea continuă se obține de la redresoare stabilizate incluse în osciloscopul catodic.

Sincroscopul este un osciloscop perfecționat care permite vizualizarea semnalelor neperiodice. Baza de timp la sincroscop este declanșată de semnalul de vizualizat.

Vizualizarea semnalelor rapide se face la viteze mari, ceea ce permite studierea imaginii, deoarece durata bazei de timp este apropiată de cea a semnalului.

Sincroscopul este prevăzut cu circuite care permit măsurarea amplitudinii semnalului ; de asemenea sincroscopul cuprinde și circuite de ștergere a imaginii, ceea ce face ca spotul să fie vizibil numai în timpul util al perioadei directe.

Comutatorul electronic este un dispozitiv cu ajutorul căruia se pot vizualiza simultan două sau mai multe semnale pe ecranul unui tub catodic cu un singur spot (fig. 1.28).

Tensiunile de vizualizat se aplică la cele două intrări ale comutatorului unde se află amplificatoarele A_1 și respectiv A_2. La ieșirea amplificatoarelor se află conectat osciloscopul.

Multivibratorul va produce două tensiuni dreptunghiulare în opoziție de fază care se aplică amplificatorului A_1 și A_2 pentru a le bloca pe rînd și în fiecare perioadă apare semnalul de la un singur amplificator.

Comutatorul prezintă avantajul că poate permite să se varieze poziția relativă a celor două semnale vizualizate, aducîndu-le la suprapunere, sau depărtîndu-le, ceea ce ușurează studiul și analiza curbelor.

Toate aceste aparate sînt necesare în laboratoarele de măsurări și verificări, atît pentru urmărirea formei curbelor de tensiune, cît și în tehnica impulsurilor, larg folosită în automatizarea verificărilor de contoare.

Dintre osciloscoapele folosite mai frecvent și care dau rezultate bune în acest domeniu citãm :

Osciloscopul de serviciu fabricat de IEMI cu o bandă de frecvență de 0...5 MHz, un coeficient de deviație verticală

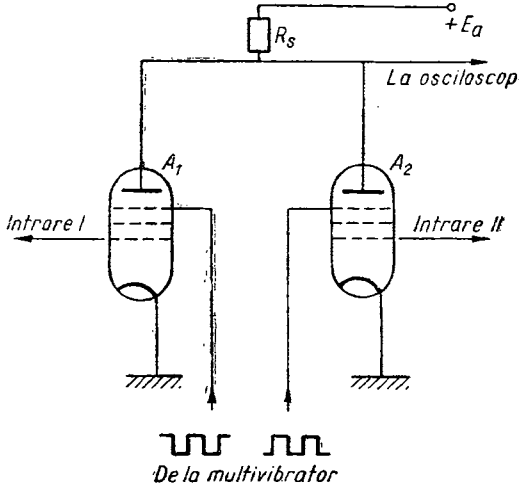


Fig. 1.28. Schema de principiu a comutatorului electronic.

20 mV/cm și un tub catodic de diametru 70 mm și osciloscopul universal E 0102, fabricat de aceeași întreprindere, complet tranzistorizat, cu banda de frecvență de 0...10 MHz, un coeficient de deviație verticală 20 mV/div, tub catodic cu ecran rectangular.

1.4.6. *Alte aparate folosite în laborator*

Orice laborator trebuie să fie dotat cu aparate electrice universale de măsurat tip voltampermetru, în scopul măsurării parametrilor electrici ai instalațiilor, detectării scurtcircuitelor și a întreruperilor de circuit.

În esență, un *voltampermetru* este compus dintr-o schemă electrică cu posibilități multiple de măsurare (tensiuni și curenți în curent alternativ și continuu, rezistențe, capacități etc.) și este etalonat în diverse mărimi (uneori în decibeli sau grade Celsius). Datorită construcțiilor diverse ale unor firme specializate care au creat tipuri originale, denumirile lor: Multizet, Avomet, Multavi etc., au devenit consacrate și echivalente cu denumirea de aparat universal.

Voltampermetrele sînt constituite dintr-un dispozitiv magnetoelectric de sensibilitate ridicată și rezistențe adiționale și șunturi cu care se realizează domeniile de măsură dorite în curent continuu. Gamele de măsurare în curent alternativ se realizează cu ajutorul unui redresor, folosin-

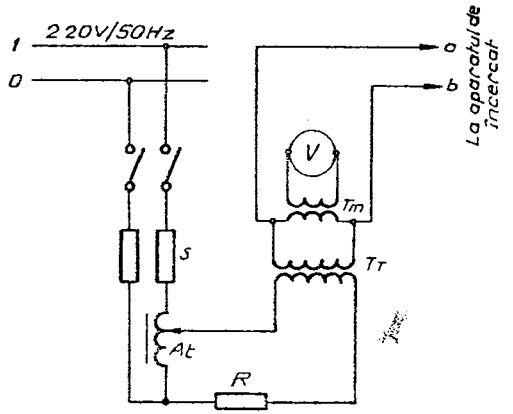


Fig. 1.29. Schema unei instalații pentru verificarea rigidității dielectrice.

du-se uzual mai multe tipuri cu seleniu, cu cuproxid sau cu diode cu germaniu.

Redresarea aparatelor universale poate fi realizată cu montaje cu redresarea unei alternanțe sau a ambelor alternanțe, ultimul cunoscut sub numele de *punte Graetz*.

Creșterea sensibilității aparatului, strict necesară pentru obținerea unei rezistențe interne mari (20 000 Ω...100 000 Ω/V) cerută de măsurarea în montajele electronice, se face pe seama micșorării consumului.

Firma Goerz — Austria a realizat aparatele Unigor 3P, 6E cu rezistență internă de 100 000 Ω/V, avînd la bază dispozitive magnetoelectrice de 8 μA. Rezultate asemănătoare au obținut și firmele Hartman-Braun R.F.G. și Metrix — Franța.

Pentru încercarea oricărui aparat electric sînt necesare instalații de străpungeri specializate pentru verificarea rigidității dielectrice (fig. 1.29). Aceasta furnizează o tensiune continuă sau alternativă sinusoidală pînă la 5 000 sau 10 000 V pentru a acoperi prevederile actelor normative pentru toate tipurile de aparate.

2. Verificarea aparatelor de măsurat indicatoare

2.1. Clasificarea și caracteristicile principale ale aparatelor de măsurat indicatoare

2.1.1. *Criterii de clasificare*

Criteriile principale după care se pot clasifica aparatele electrice indicatoare sînt prezentate în cele ce urmează:

După mărimea măsurată — aparatele se utilizează ca ampermetre, voltmetre, wattmetre, fazmetre, frecvențmetre, ohmmetre etc.

După principiul de funcționare — aparatele se clasifică în construcțiile:

— magnetoelectrice;
— electromagnetice;
— electrodinamice;
— ferodinamice;
— de inducție;
— termoelectrice;
— termice cu bimetal;
— termice cu fir cald;
— electrostatice;
— cu lamele vibrante;
— logometrice.

După clasa de precizie — aparatele se fabrică pentru clasele 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 5,0.

După numărul intervalelor de măsurare — aparatele pot fi cu un singur interval sau cu mai multe intervale de măsurare.

După modul de utilizare — aparatele se clasifică în :

— aparate etalon ;
— aparate de precizie ;
— aparate de tablou ;
— aparate uzuale.

După modul de protecție împotriva influențelor cîmpurilor magnetice și electrice exterioare — aparatele se fabrică :

— fără ecranare ;
— cu ecranare magnetică sau electrostatică ;
— în construcție astatică.

După modul de protecție împotriva acțiunii mediului înconjurător — aparatele se fabrică în execuții :

— capsulate ;
— ermetice ;
— impermeabile ;
— cu acoperiri pentru medii explozive sau corosive ;
— cu acoperiri pentru climă tropicală, umedă.

După rezistența la solicitări mecanice — aparatele se clasifică în construcții :

— obișnuite ;
— cu rezistența sporită și insensibile la șocuri și vibrații.

2.1.2. *Principalele date constructive ale aparatelor de măsurat indicatoare*

Aparatele de măsurat electrice indicatoare se compun din următoarele părți principale :

Dispozitivul de măsurat care sub acțiunea unei mărimi electrice produce o deplasare a unui element indicator.

Dispozitivul de măsurat este diferit în funcție de principiul său de funcționare : magnetoelectric, electromagnetic, electrostatic etc.

Schema aparatului care are rolul de a transforma mărimea de măsurat într-o mărime ce poate fi evaluată de dispozitivul de măsurat.

Din punct de vedere constructiv la aparatele indicatoare se disting următoarele părți componente :

Carcasa, care are rolul de a proteja dispozitivul de măsurat și celelalte piese ale aparatului împotriva prafului, gazelor, umidității, acțiunilor mecanice etc. ; ea este construită din lemn, bachelită sau tablă.

Acul indicator are rolul de a arăta valoarea mărimii de măsurat prin deplasarea sa ; el este de diferite forme în funcție de precizia aparatului : lance, bară, lamă cuțit, cu fir etc.

La precizii deosebit de ridicate acul se înlocuiește cu o oglindă ce indică mărimea de măsurat printr-o pată luminoasă numită — *spot luminos*.

Scara aparatului cuprinde totalitatea diviziunilor corespunzătoare domeniului de măsurare a aparatului. Prin intermediul ei este posibilă aprecierea valorii mărimii de măsurat indicate de acul indicator. Diviziunile sînt de obicei trasate pe o suprafață albă, care are ca suport hîrtie, tablă sau o placă izolantă. Ele sînt imprimate cu tuș, gravate, stanțate sau fotografiate.

Uneori suportul pe care sînt trasate diviziunile este decupat și se lipește dedesubt o oglindă amplasată imediat sub scara aparatului, întinzîndu-se pe toată lungimea ei, care reflectă imaginea acului indicator în scopul eliminării erorii de paralaxă.

Axul și lagărele numite și *cherner* respectiv *crapodine* au rolul susținerii echipamentului mobil în poziția de funcționare, permițînd acestuia să se rotească. La aparatele de precizie lagărele sînt confecționate din pietre prețioase (rubine, safire etc.), iar la cele foarte sensibile, axele și lagărele sînt înlocuite prin benzi de suspensie din materiale elastice.

Arcul spiral are rolul să creeze cuplul antagonist mecanic ; el este confecționat din materiale elastice (de obicei bronz fosforos). La aparatele de mare sensibilitate rolul acestuia este preluat de banda de suspensie.

Amortizorul servește la micșorarea numărului de oscilații, permițînd stabilizarea acului indicator pe valoarea măsurată. Există două tipuri constructive : pneumatice cu paletă sau piston și magnetice.

Corectorul are rolul să aducă indicatorul în poziția de zero a scării ; el este confecționat dintr-un șurub cu excentric

care rotește o piesă pe care este fixat unul din capetele arcului spiral.

În cadrul schemei de măsurare a aparatului se întîlnesc adesea traductoare care transformă mărimea de măsurat într-o mărime de altă natură măsurabilă cu dispozitivul de măsurat. Dintre acestea se enumeră :

Șuntul este o rezistență ce se conectează în paralel cu dispozitivul de măsurat, în scopul extinderii intervalului de măsurare la ampermetre. El se confecționează interior sau exterior aparatului și cu valori interschimbabile sau neinterschimbabile și se verifică cu punte de tip Thomson fiind de valoare mică.

Rezistența adițională este o rezistență ce se conectează în serie cu dispozitivul de măsurat, în scopul extinderii intervalului de măsurare la voltmetre. Ca și șuntul se confecționează interior sau exterior, interschimbabile sau neinterschimbabile și se verifică cu punți de tip Wheatstone, fiind de valoare mare.

Redresorul are rolul de a face măsurabil curentul alternativ cu un dispozitiv de măsurare de curent continuu (magnetoelectric).

Termocuplul intră în construcția aparatelor termoelectrice și are rolul de a măsura o tensiune sau curent prin efectul lor termic.

Transformatoarele de măsură intră cîteodată în schema aparatelor de curent alternativ pentru extinderea intervalelor de măsurare ale acestora.

2.1.3. *Caracteristicile aparatelor de măsurat indicatoare*

Principalele caracteristici care definesc calitățile metrologice ale aparatelor de măsurat indicatoare sînt următoarele :

Sensibilitatea — proprietatea unui aparat de măsurat de a percepe cele mai mici variații ale mărimii de măsurat.

Justețea — proprietatea aparatului de măsurat de a da indicații cît mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii măsurate.

Fidelitatea — proprietatea aparatului de măsurat de a indica cu abateri foarte mici aceeași valoare la măsurarea repetată a aceleiași mărimi în condiții identice.

Mobilitatea — proprietatea unui aparat de măsurat de a reacționa cît mai repede la variația mărimii de măsurat.

Fiabilitatea — proprietatea unui aparat de măsurat de a-și păstra calitățile, în scopul îndeplinirii funcției pentru care a fost creat, după un timp de funcționare cît mai lung.

Precizia — proprietatea aparatului de măsurat care exprimă gradul de exactitate a măsurărilor efectuate cu el. Aceasta este condiționată de toate celelalte caracteristici enumerate mai sus și este apreciată prin „clasa de precizie" a aparatului.

Tipurile de erori după care este caracterizată precizia aparatelor de măsurat indicatoare sînt:

Eroarea absolută Δ: diferența dintre indicația aparatului și valoarea reală a mărimii măsurate.

$$\Delta = A - A_r$$

unde: A este indicația aparatului;
A_r — valoarea reală a mărimii măsurate.

Eroarea relativă η: raportul dintre eroarea absolută a indicației și valoarea reală a mărimii măsurate, exprimat procentual

$$\eta_{\%} = \frac{\Delta}{A_r} \cdot 100 = \frac{A - A_r}{A_r} 100.$$

Eroarea raportată ε: raportul dintre eroarea absolută și limita superioară de măsurare (domeniul de măsurare) exprimat procentual

$$\varepsilon_{\%} = \frac{\Delta}{A_{max}} \cdot 100 = \frac{A - A_r}{A_{max}} 100.$$

Aparatele indicatoare de tip ampermetru, voltmetru, wattmetru sînt caracterizate prin eroarea raportată.

De obicei, pentru ohmmetre eroarea se dă în procente din lungimea porțiunii de lucru a scării gradate și anume:

$$E_{\%} = (X_n - X_e) \frac{l}{L} 100,$$

unde : L este lungimea scării gradate în mm, l este diferența dintre reperele cele mai apropiate de punctul X_n, în mm, raportată la diferența indicațiilor celor două repere în ohmi.

2.2. Metode de verificare a aparatelor electrice indicatoare

În funcție de clasa de precizie și domeniul de măsurare a aparatului de verificat, precum și de etaloanele de care dispune laboratorul, aparatele indicatoare pot fi verificate prin următoarele metode principale :

— metoda comparației (ampermetre, voltmetre, wattmetre, ohmmetre) ;

— metoda compensației (ampermetre, voltmetre, wattmetre) ;

— metoda de măsurare directă (ohmmetre) ;

— metoda divizorului inductiv de tensiune (ampermetre, voltmetre).

Avînd în vedere utilizarea largă a primelor trei metode, se va insista mai mult asupra metodei divizorului inductiv de tensiune care cîștigă un cîmp de întrebuințare din ce în ce mai mare.

2.2.1. *Metoda comparației*

Se folosește pentru verificarea ampermetrelor, voltmetrelor, wattmetrelor și ohmmetrelor de clasă 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 5,0.

Metoda constă în compararea indicațiilor aparatului de verificat cu un aparat etalon avînd o clasă de precizie de 3...5 ori mai bună.

Pentru exemplificare în fig. 2.1...2.5 se dau schemele de verificare prin metoda comparației a ampermetrelor, respectiv voltmetrelor, wattmetrelor monofazate.

Pentru verificarea ampermetrelor și voltmetrelor se întrebuințează ca etaloane, în afară de ampermetre și voltmetre de clasă 0,1 sau 0,2 de aceeași construcție, voltmetre electronice digitale de precizii 0,01% la 0,1%.

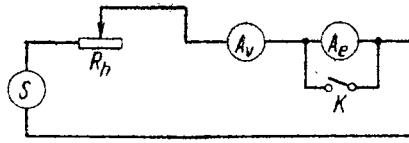
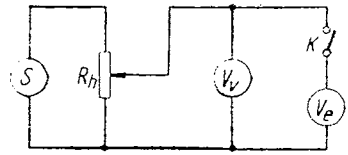


Fig. 2.1. Schema de verificare a ampermetrelor prin metoda comparației :
S — sursă de curent ; R_h — reostat ; A_v — ampermetru de verificat ; A_e — ampermetru etalon ; k — întreruptor.

Fig. 2.2. Schema de verificare a voltmetrelor prin metoda comparației :
S — sursă de tensiune ; R_h — reostat ; V_v — voltmetru de verificat ; V_e — voltmetru etalon ; k — întreruptor.



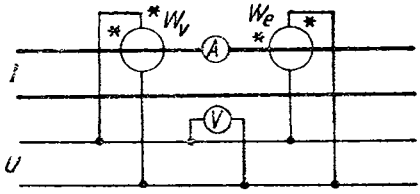


Fig. 2.3. Schema de verificare a wattmetrelor monofazate prin metoda comparației :
W_v — wattmetru de verificat ; W_e — wattmetru etalon.

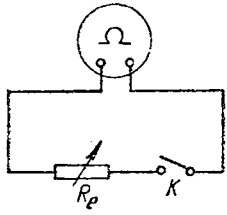


Fig. 2.4. Schema de verificare a ohmmetrelor prin comparație cu o cutie de rezistențe etalon :
Ω — ohmmetrul de verificat ; R_e — cutie de rezistență etalon ; k — întreruptor.

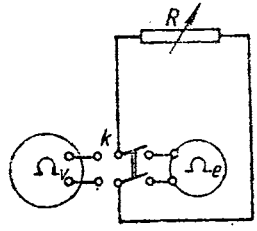


Fig. 2.5. Schema de verificare a ohmmetrelor prin comparație cu un ohmmetru etalon :

Ω_v — ohmmetrul de verificat ; Ω_e — ohmmetrul etalon ; R — reostat ; k — întreruptor.

2.2.2. *Metoda compensației*

Se folosește pentru verificarea ampermetrelor, voltmetrelor și wattmetrelor de precizie superioară (clasă 0,1 și 0,2).

Schema de principiu a compensatorului de curent continuu este dată în fig. 2.6. În principiu funcționarea acestor compensatoare, se bazează pe faptul că, dacă două tensiuni electromotoare de valori egale se leagă în opoziție, prin circuitul astfel format nu va trece nici un curent. Avantajul acestui principiu constă în posibilitatea de a se măsura tensiuni electrice fără a se consuma energie din circuitul respectiv. Compensatorul este o sursă de tensiune variabilă de valori cunoscute. Această tensiune se reglează pînă cînd se echilibrează valoarea tensiunii necunoscute aplicată la bornele compensatorului, ceea ce se obține prin indicarea lipsei curentului în galvanometrul G din schemă.

Operația de măsurare este precedată de operația de tarare, adică de reglarea curentului auxiliar produs de bateria B, prin reostatul R_h pînă cînd se echilibrează curentul

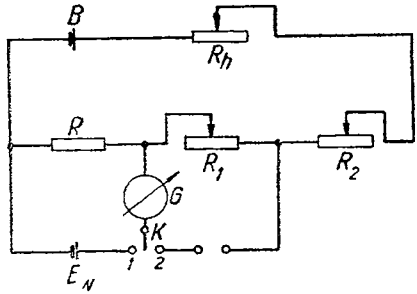


Fig. 2.6. Schema de principiu a compensatorului de curent continuu:
B — baterie; E_N — element normal Weston; R_h — reostat; R — rezistență de compensație a circuitului elementului normal; R_1, R_2 — rezistențe de valori cunoscute; k — comutator.

din circuitul elementului Weston (k în poziția 1) moment ce este indicat de valoarea zero a galvanometrului.

Cea mai utilizată instalație de compensație, în laboratoarele metrologice de precizie din țară este compensatorul Norma — Austria tip Mod. 88 M.

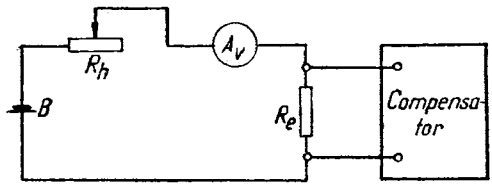


Fig. 2.7. Schema de verificare a ampermetrelor prin metoda compensatorului :
B — baterie ; R_h — reostat ; A_v — ampermetru de verificat ; R_e — rezistenţe etalon.

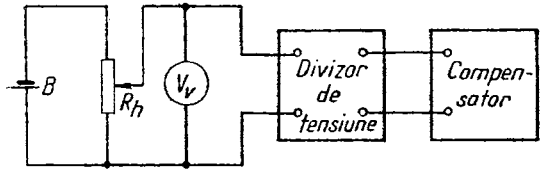


Fig. 2.8. Schema de verificare a voltmetrelor prin metoda compensatorului :
B — baterie ; R_h — reostat ; V_v — voltmetru de verificat.

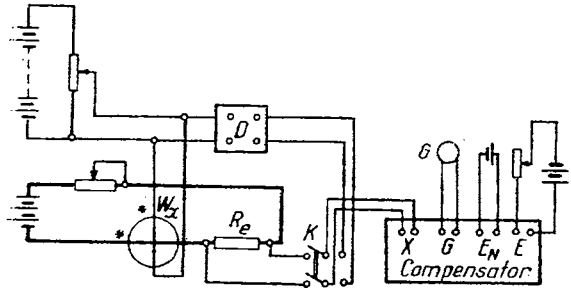


Fig. 2.9. Schema de verificare a wattmetrului monofazat cu ajutorul compensatorului.

Calitățile sale constau, — în afară de precizia de 0,015% și stabilitatea în timp a caracteristicilor sale — în concentrarea în instalație a tuturor aparatelor cu care se poate asigura verificarea ampermetrelor, voltmetrelor, wattmetrelor monofazate de precizie, cum ar fi diverse compensatoare, punțile Thomson și Wheatstone, rezistențe normale, elemente Weston.

Instalația Norma are încorporat în afară de compensatorul principal, un compensator auxiliar, o punte Thomson — Wheastone, un set de rezistențe normale, 2 elemente Weston și un ansamblu de reostate pentru reglajul tensiunii și curentului.

Pentru verificarea prin metoda compensatorului a ampermetrelor, voltmetrelor și wattmetrelor monofazate se utilizează schemele din figurile 2.7...2.9.

2.2.3. *Metoda de măsurare directă*

Se folosește pentru verificarea ohmmetrelor indiferent de principiul lor de funcționare, precum și a punților, faradmetrelor etc., care măsoară elemente de circuit.

Pentru verificarea ohmmetrelor prin această metodă se utilizează cutii de rezistențe de precizie, reglabile care să permită realizarea de trepte de cel puțin 0,1 din valoarea erorii admisibile pentru aparatul care se verifică.

2.2.4. *Metoda divizorului inductiv de tensiune*

Introducerea dispozitivelor inductive de raport au avut consecințe profunde în tehnica măsurilor electrice de mare precizie. Nu este vorba de o simplă înlocuire a unor dispozitive de raport cu unele mai precise, ci despre o serie de noi posibilități care conduc la modificări fundamentale în însăși concepția de realizare a unor scheme de măsurare.

În fig. 2.10 este reprezentată schema unui divizor de tensiune obișnuit realizat cu ajutorul a două impedanțe Z_1 și Z_2. Presupunînd că divizorul funcționează în gol, raportul de divizare este

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

și depinde de raportul celor două impedanțe. Stabilitatea acestui raport este legată de unele constante de material și de dimensiuni care pot varia în timp.

În fig. 2.11 este reprezentată schema unui divizor inductiv de tensiune realizat cu ajutorul unor bobine cuplate

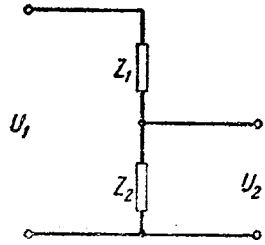


Fig. 2.10. Divizor de tensiune cu impedanțe.

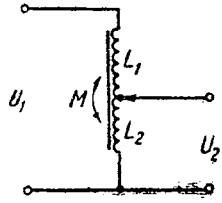


Fig. 2.11. Divizor de tensiune inductiv.

strîns între ele. La funcționarea în gol, în cazul ideal, în care dispersia magnetică este nulă, raportul de divizare este

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1 + N_2}$$

în care N_1 și N_2 sînt numerele de spire ale celor două secțiuni. Se poate ușor arăta că relația se păstrează chiar dacă cuplajul nu este perfect; este suficient ca inductanțele de dispersie să fie proporționale cu numerele de spire corespunzătoare ale înfășurărilor. Introducînd

$$L_1 = \frac{N_1}{N_2} M + \lambda_1, \text{ și } L_2 = \frac{N_2}{N_1} M + \lambda_2,$$

în care λ_1 și λ_2 sînt inductanțele de dispersie

$$\lambda_1 = aN_1; \ \lambda_2 = aN_2$$

se obține:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{L_2 + M}{L_1 + L_2 + 2M} = \frac{\frac{N_2}{N_1} M + aN_2 + M}{\frac{N_1}{N_2} M + aN_1 + \frac{N_2}{N_1} M + aN_2 + 2M} = \frac{N_2}{N_1 + N_2}.$$

În consecință raportul de divizare depinde numai de raportul unor numere de spire și nu depinde de vreo constantă de material sau de dimensiuni, fiind foarte stabil și independent de factorii de mediu. În mod similar se poate arăta că și efectul rezistențelor celor două secțiuni ale înfășurării este nul dacă rezistențele sînt proporționale cu numerele de spire.

Impedanța de intrare a divizorului inductiv poate fi făcută foarte mare, prin alegerea corespunzătoare a numărului de spire. În același timp, impedanța de ieșire poate fi foarte mică, fiind dată în principal de rezistențele înfășurărilor. Impedanța de intrare de valoare ridicată asigură o influență mică a divizorului asupra circuitului de alimentare, iar impedanța de ieșire de valoarea coborîtă reduce influența impedanțelor perturbatoare față de masă și a altor cuplaje parazite.

Pentru obținerea unor trepte de divizare mai mici, divizoarele inductive pot fi conectate în cascadă. Pentru a realiza varierea raportului de divizare în trepte de 0,1, divizorul inductiv trebuie construit cu înfășurarea formată din 10 secțiuni identice, conectate în serie. În fig. 2.12 este arătată cea mai răspîndită schemă pentru obținerea unor decade succesive. Comutatoarele duble sînt acționate simultan și permit însumarea tensiunilor de pe fiecare decadă. Raportul de divizare rezultat se citește direct, sub formă de fracție zecimală, pe indicatoarele numerice ale comutatoarelor.

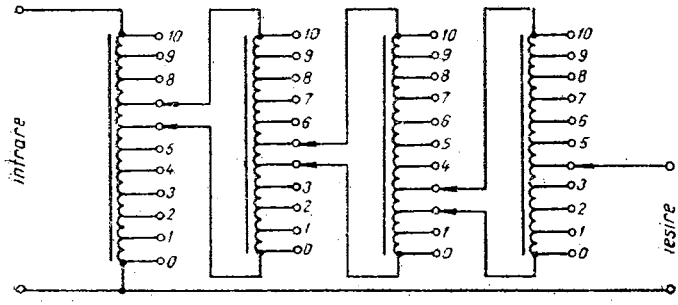


Fig. 2.12. Divizor inductiv cu mai multe decade.

Erori ale divizoarelor inductive. Raportul de divizare poate fi exprimat prin

$$\frac{U_2}{U_1} = D + \alpha + j\,\beta,$$

unde : D este raportul nominal de divizare, α este eroarea de raport, iar β este eroarea de unghi. Eroarea unui divizor cu mai multe decade se compune din *erorile fiecărei decade* în parte și din erorile *datorită interconectării decadelor.* La rîndul lor, erorile decadelor pot fi împărțite în *erori de frecvență joasă* și *erori de frecvență înaltă.*

Erorile de frecvențe joase se produc din următoarele cauze principale :

— inegalitatea fluxurilor magnetice prin secțiunile înfășurării :

— inegalitatea inductanțelor de dispersie ale secțiunilor ;

— inegalitatea rezistențelor secțiunilor.

În cazul miezurilor moderne de mare permeabilitate, al formei toroidale, care prezintă o bună simetrie, și al înfășurărilor cu secțiuni torsadate între ele, erorile datorate inegalității fluxurilor magnetice sînt doar de ordinul 10^{-8}.

Pentru micșorarea erorilor datorate inegalității inductanțelor de dispersie este necesar ca inductanțele de dispersie ale celor 10 secțiuni să fie cît mai mici, diferențele între inductanțele de dispersie ale celor 10 secțiuni să fie cît mai mici și inductanța L să fie cît mai mare. Aceste erori sînt dependente de tensiunea aplicată divizorului și de frecvență. În general erorile scad odată cu creșterea tensiunii, pentru tensiuni nu prea mari, și cresc odată cu creșterea frecvenței. La construcții îngrijite și materiale magnetice bune, erorile datorate inegalității inductanțelor de dispersie sînt de obicei sub 10^{-7}.

Pentru ca erorile datorate inegalității rezistențelor secțiunilor să fie mici, este necesar ca rezistențele secțiunilor înfășurării să fie mici, diferențele valorilor acestor rezistențe să fie mici, inductanța L să fie mare și pierderile în materialul magnetic să fie mic. Aceste erori variază și ele cu tensiunea aplicată și cu frecvența. La mai multe divizoare inductive, erorile de acest tip constituie componenta cea mai importantă

a erorilor globale. Ele pot fi reduse sub 10^{-7}, folosind materiale magnetice de bună calitate și o construcție corespunzătoare.

Factorul determinant al *erorilor care apar la frecvențe înalte* îl constituie capacitățile parazite dintre înfășurări. Pentru micșorarea capacităților dintre secțiunile înfășurărilor se poate merge pe două căi: sau mărirea distanțelor dintre conductoarele secțiunilor, sau scăderea numărului de spire. Prima posibilitate conduce însă la creșterea inadmisibilă a inductanțelor de dispersie, iar a doua mărește nesimetriile dintre secțiuni. Rezultă că funcționarea divizoarelor inductive este limitată la frecvențe înalte de creșterea excesivă a erorilor datorate capacităților parazite. În mod normal este greu de realizat o precizie mai bună de $10^{-4}...10^{-5}$ la frecvențe de ordinul 10 kHz.

Erorile datorită interconectării decadelor, în cazul decadelor bobinate pe același miez, apar din cauza modificării cuplajului dintre secțiunea șuntată și restul înfășurării, a inductanței secțiunii, respective și a rezistenței sale echivalente. Aceste erori au fost evaluate la $10...15 \cdot 10^{-6}$. În cazul în care decadele interconectate sînt pe miezuri diferite, eroarea care apare este datorată rezistenței secțiunii șuntate și componentei rezistive a impedanței de intrare a decadei următoare. Folosind materiale de bună calitate, eroarea de acest tip poate fi de ordinul $10^{-6}...10^{-7}$.

Divizoarele inductive pot prezenta *erori* și *datorită modului necorespunzător de utilizare.* Astfel, la funcționarea în sarcină apar erori suplimentare. Pentru a putea folosi integral precizia foarte mare a divizoarelor inductive, acestea trebuie să lucreze pe impedanțe suficient de mari (de exemplu pe rezistențe de zeci de megohmi și capacități de cel mult sute de picofarazi).

Erori pot fi *produse* și *de cuplajele magnetice parazite* cu surse exterioare perturbatoare. Aceste erori sînt neglijabile la divizoarele de construcție modernă, datorită bobinelor toroidale și ecranelor magnetice cu care sînt prevăzute.

Alte *erori* pot proveni *din magnetizarea miezurilor,* care poate apărea spre exemplu la trecerea accidentală a unui curent continuu prin înfășurări sau la depășirea tensiunilor de intrare admisibile. În aceste cazuri este necesară demag-

netizarea divizorului prin aplicarea, la intrare, a unei tensiuni alternative suficient de mari și scăderea ei treptată pînă la zero.

Schemele de utilizare a divizoarelor inductive. Numărul schemelor posibile de utilizare a divizoarelor de tensiune este foarte mare. Cunoscînd schemele fundamentale de conectare a divizorului inductiv, se pot ușor imagina și alte scheme adaptate diverselor necesități.

În fig. 2.13 sînt redate cele 6 scheme fundamentale de conectare a unui divizor inductiv, presupunîndu-se că divizoarele de tensiune lucrează în gol și divizoarele de curent lucrează în scurtcircuit.

Conectarea ca divizor de tensiune este cea mai obișnuită. Raportul dintre tensiunea de intrare U_1 și cea de ieșire U_2 este

$$\frac{U_2}{U_1} = k,$$

unde k este raportul de divizare citit direct pe decadele divizorului.

La conectarea ca divizor inductiv de curent, raportul dintre curentul de intrare I_1 și ieșire I_2 este

$$\frac{I_2}{I_1} = k.$$

Conectarea ca autotransformator de raport de tensiune se utilizează pentru obținerea a două tensiuni de ieșire U_2' și U_2'', într-un raport cunoscut

$$\frac{U_2'}{U_2''} = \frac{1-k}{k}.$$

În cazul utilizării divizorului inductiv ca autotransformator de raport de curent, se obțin doi curenți în raportul

$$\frac{I_2'}{I_2''} = \frac{k}{1-k}.$$

În cazul comparatorului de tensiune, conectîndu-se la ieșire un indicator de nul, pentru $U_2 = 0$, raportul tensiunilor comparate este

$$\frac{U_1'}{U_1''} = \frac{1-k}{k}.$$

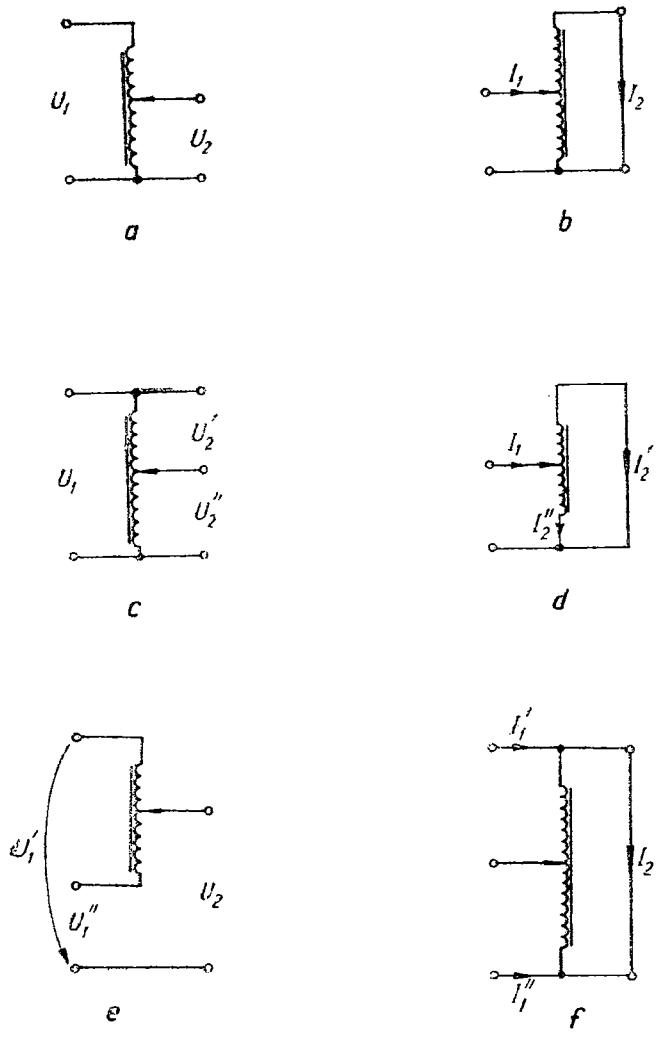


Fig. 2.13. Schemele fundamentale de conectare a divizorului inductiv :

a — divizor de tensiune ; *b* — divizor de curent ; *c* — autotransformator de raport de tensiune ; *d* — autotransformator de raport de curent ; *e* — comparator inductiv de tensiune ; *f* — comparator inductiv de curent.

În cazul comparatorului inductiv de curent, pentru $I_2 = 0$, raportul curenților este

$$\frac{I_1'}{I_1''} = \frac{k}{1-k}.$$

Utilizarea divizorului inductiv ca divizor de tensiune se poate aplica la etalonarea voltmetrelor, a divizoarelor de tensiune, a atenuatoarelor, a compensatoarelor, a transformatoarelor de tensiune etc.

În fig. 2.14 sînt indicate două scheme pentru etalonarea unui voltmetru. Prima schemă (fig. 2.14, *a*) se utilizează în cazul în care voltmetrul, conectat la ieșirea divizorului inductiv, are impedanța de intrare suficient de mare. Așa cum este desenată schema, se presupune că voltmetrul etalon

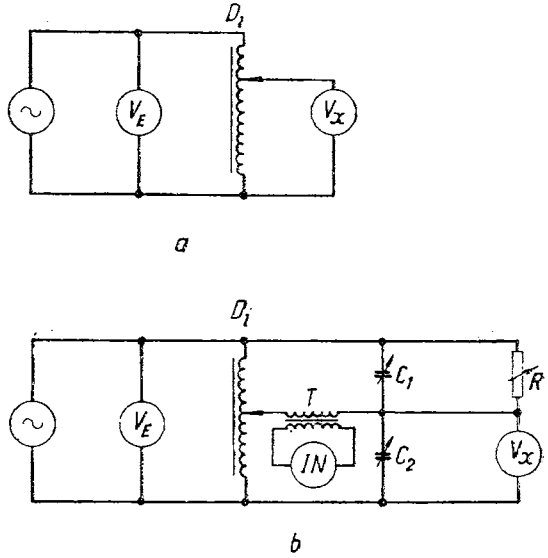


Fig. 2.14. Scheme pentru etalonarea unui voltmetru:
a — etalonare directă; *b* — etalonare cu compensare.

V_E măsoară tensiuni mai mari decît voltmetrul de verificat V_x; în caz contrar voltmetrele se schimbă între ele. Avantajul acestei scheme constă în posibilitatea etalonării în

limite largi a tensiunii, în raport cu un singur etalon de tensiune fixă.

Schema de etalonare cu compensare în fig. 2.14, *b* este utilă pentru etalonarea voltmetrelor de impedanță mai mică (sub 10...20 kΩ) și practic pur rezistivă. Tensiunea de alimentare este divizată cu ajutorul unui rezistor variabil R și voltmetrul V_x. Cele două condensatoare variabile C_1 și C_2 servesc la echilibrarea fazelor. Transformatorul de simetrizare T permite ca atît sursa, cît și indicatorul de nul IN să aibă cîte un punct la masă.

În fig. 2.15 este dată o schemă de etalonare a unui divizor de tensiune D, care poate fi un divizor rezistiv, capacitiv sau inductiv, un atenuator etc. Tensiunea U este o ten-

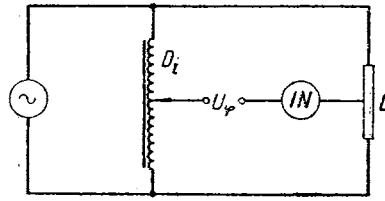


Fig. 2.15. Etalonarea unui divizor de tensiune.

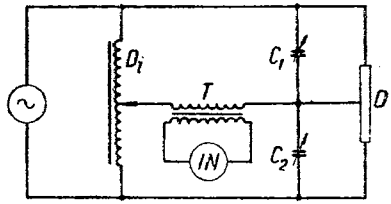


Fig. 2.16. Etalonarea unui divizor de tensiune rezistiv.

siune defazată cu 90° față de tensiunea sursei, necesară pentru compensarea diferenței unghiurilor de fază ale celor două divizoare.

În fig. 2.16 este dată o schemă care poate fi folosită la etalonarea unui divizor rezistiv. Compensarea diferenței erorilor de fază se face cu ajutorul a două condensatoare C_1 și C_2.

În fig. 2.17 sînt indicate 3 scheme pentru etalonarea unui ampermetru. Prima schemă poate fi utilizată în cazul în care ampermetrul conectat la ieșirea divizorului de curent

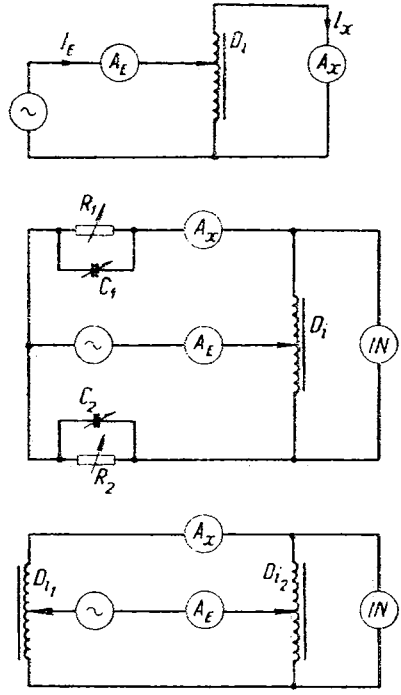


Fig. 2.17. Scheme pentru etalonarea ampermetrelor.

are o impedanță suficient de mică. Așa cum este desenată prima schemă, curentul I_x prin aparatul de etalonat A_x este mai mic decît curentul I_E prin aparatul etalon

$$I_x = k \cdot I_E.$$

Dacă curentul prin ampermetrul de etalonat A_x este mai mare decît curentul admis prin ampermetrul etalon A_E, atunci cele două instrumente se inversează între ele. Această schemă are avantajul că se poate folosi un singur aparat

etalon pentru verificarea ampermetrelor cu gamă largă a valorilor curenților. Metoda poate fi folosită la curenți care nu depășesc valoarea admisă la ieșirea divizorului inductiv. Pentru curenți mai mari se pot folosi transformatoare de curent.

A doua schemă indicată în fig. 2.17 se folosește la etalonarea ampermetrelor cu impedanță mai mare. În această schemă compensarea curenților este controlată prin indicatorul de nul IN. Se reglează R_1 pentru a căpăta indicația dorită la ampermetrul de verificat A_x și apoi se variază raportul k de divizare al divizorului inductiv D_i pînă la obținerea echilibrului.

Rezistorul R_2 poate avea o valoare arbitrară, iar condensatoarele C_1 și C_2 servesc la echilibrarea fazelor celor doi curenți. Cu ajutorul schemei a treia din fig. 2.17 se pot etalona ampermetre la frecvențe suficient de joase și reactanțe neglijabile, unde echilibrarea fazelor nu este necesară. Divizorul inductiv auxiliar D_{i2} servește la reglarea raportului curenților, iar sursa furnizează un curent reglabil ca intensitate.

2.3. Cîteva instalații realizate pentru verificarea aparatelor de măsurat electrice indicatoare

Avînd în vedere că în general aparatele de măsurat indicatoare de tipul ampermetru, voltmetru, wattmetru ca și elementele lor anexe, rezistențe adiționale și șunturi interschimbabile, se verifică în laboratoarele metrologice cu montaje realizate pe mese de lucru după schemele arătate la subcapitolul 2.2 sau cu compensatoare cunoscute, în cadrul acestui subcapitol vor fi prezentate cîteva instalații utilizate pentru verificarea în producția de serie a aparatelor de măsură realizate de diferite întreprinderi producătoare.

În ceea ce privește verificarea wattmetrelor trifazate, avînd în vedere identitatea instalațiilor folosite în acest scop cu unele din cele folosite la verificarea contoarelor, descrierea acestora se va face cu ocazia descrierii instalațiilor pentru contoare la cap. 4.

2.3.1. *Instalațiile de reglat și verificat ampermetre electromagnetice*

Stația, realizată prin autoutilare la uzina Electromagnetica (fig. 2.18), servește la etalonarea ampermetrelor de curent alternativ cu clasele de precizie 1,5 și 2,5. Măsurarea se face prin compararea indicațiilor ampermetrelor de verificat cu indicațiile unui ampermetru etalon A_E.

Ampermetrele de încercat se leagă la bornele A_1 și A_2. Cu ajutorul autotransformatorului At se reglează curentul la valoarea dorită. Rezistențele R_L de limitare a curentului sînt necesare pentru a elimina variațiile curentului datorită legăturilor imperfecte.

Pentru eliminarea variațiilor tensiunii rețelei, stația este alimentată prin intermediul unui stabilizator astfel încît curba curentului este practic sinusoidală (distorsiuni sub 5%).

2.3.2. *Instalație de reglat și verificat voltmetre electromagnetice*

Instalația (fig. 2.19) a fost confecționată pentru a servi la etalonarea voltmetrelor de curent alternativ din fabricația uzinei Electromagnetica. Se verifică instrumente cu clase de precizie de 1,5 și 2,5, cu ajutorul unui voltmetru etalon. Voltmetrele de verificat se leagă în paralel la bornele V_1 și V_2. Tensiunea se reglează la valoarea dorită cu ajutorul unui autotransformator At.

Instalația este alimentată prin intermediul unui stabilizator. Stabilizatorul, autotransformatorul At și transformatorul T sînt astfel dimensionate (inducție 6000 Gs) încît să nu introducă distorsiuni.

2.3.3. *Stand pentru reglat și verificat șunturi*

Standul a fost realizat la uzina Electromagnetica București în scopul ajustării și verificării șunturilor fabricate de către uzină.

Standul (fig. 2.20) este prevăzut cu o punte Thomson Th. Alimentarea se face de la un grup motor-generator. Exci-

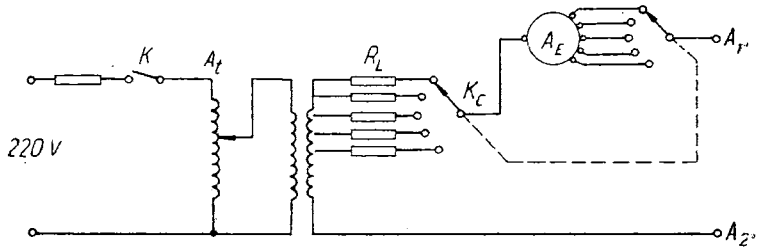


Fig. 2.18. Instalaţie de reglat şi verificat ampermetre electromagnetice la frecvenţa de 50 Hz.

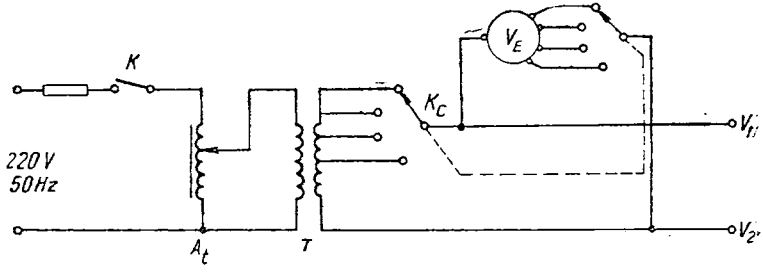


Fig. 2.19. Instalaţie de reglat şi verificat voltmetre electromagnetice.

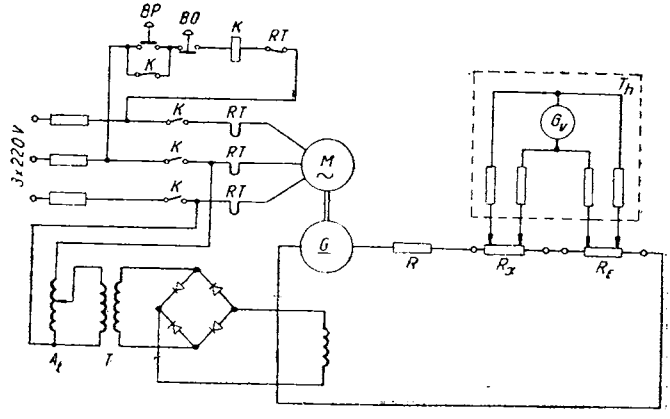


Fig. 2.20. Stand de reglat şi verificat şunturi.

tația generatorului de curent continuu este alimentată separat prin intermediul unui autotransformator cu cursor, astfel încît curentul prin șunt poate fi reglat de la zero pînă la valoarea nominală 200 A. Standul este alimentat de la rețeaua trifazată 3 × 220 V — 50 Hz.

2.3.4. *Instalație cu tensiuni predeterminate pentru etalonarea voltmetrelor de curent alternativ*

Această instalație a fost construită la uzina Electromagnetica — București pentru etalonarea voltmetrelor de curent alternativ de clasă 1,5 și 2,5. Instalația (fig. 2.21) furnizează tensiuni stabilizate la valori predeterminate din 0,1 V în 0,1 V pînă la 600 V. Tensiunile stabilizate se obțin cu o precizie de $\pm 0{,}5\%$. Puterea debitată de instalație este de maxim 150 VA. Tensiunea de alimentare a instalației este de 120 V, putînd varia de la 90 V la 130 V. Instalația nu deformează practic forma tensiunii de ieșire, aceasta depinzînd doar de forma tensiunii de alimentare.

Stabilizatorul este prevăzut cu butoane $B_1 \ldots B_4$ (6 × × 100 V; 10 × 10 V; 10 × 1 V și 10 × 0,1 V) cu ajutorul cărora se obțin tensiunile dorite.

Pentru compensarea sarcinii, instalația este prevăzută cu un instrument indicator (*mA*) pe care este gravată plaja de funcționare. Cu ajutorul comutatorului *CS* de compensare a sarcinii se aduce acul instrumentului în interiorul plajei de funcționare. Această compensare se face pentru fiecare schimbare de sarcină.

Instalația mai este prevăzută cu un comutator pentru corectarea erorii. Pentru cazurile cînd este necesar ca eroarea să fie mai mică de 0,5% (care se obține în mod normal) se poate face corecția necesară cu ajutorul unui voltmetru etalon, compensator sau alt mijloc de măsurare a tensiunii prin intermediul comutatorului *CE*.

Elementul de reglare a valorii tensiunii îl constituie bobina *BP* premagnetizată în curent continuu. Bobina are un circuit magnetic format din tole de transformator. Impedanța bobinei depinde de valoarea curentului de comandă. Transformatorul *TF* prevăzut în secundar cu prizele necesare

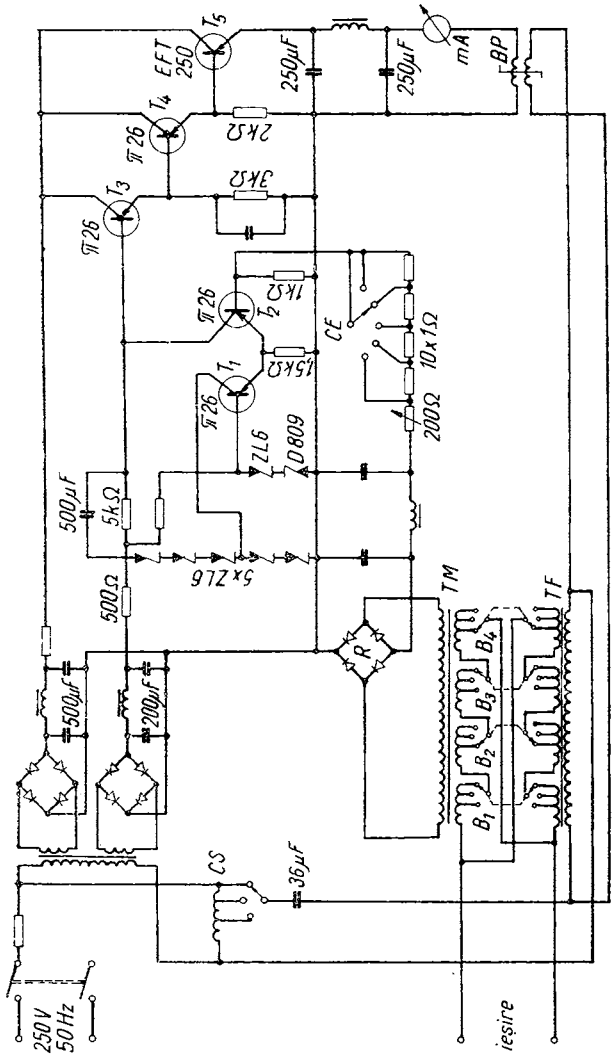


Fig. 2.21. Schema instalației cu tensiuni predeterminate pentru etalonarea voltmetrelor de curent alternativ.

pentru obținerea tuturor valorilor de tensiune, are primarul în paralel cu bobina *BP*. În serie cu aceste două elemente în paralel, se află o impedanță formată dintr-un condensator. Tensiunea pe transformatorul *TF* depinde de valoarea impedanței bobinei *BP* și deci de valoarea curentului de comandă al acesteia. Tensiunea de ieșire este transformată de transformatorul de măsură *TM*, astfel încît tuturor valorilor tensiunii de ieșire le corespunde în secundar o singură valoare. Această tensiune este redresată cu ajutorul redresorului *R* și apoi comparată cu tensiunea de referință dată de diodele ZL6 și D809. Dioda D809 conectată în sens direct compensează erorile de temperatură introduse în dioda ZL6.

Cele cinci diode ZL6 dispuse în serie împreună cu rezistența de 500 Ω, formează primul etaj de stabilizare al blocului tensiunii de referință, alimentînd în același timp amplificatorul de curent continuu format din tranzistoarele II 26 și EFT 250. Amplificatorul are un prim etaj de amplificare diferențial format din tranzistoarele T_1 și T_2.

Tensiunile stabilizate se obțin cu o precizie de 0,5%, suficientă pentru instrumentele de clasă 1,5 și 2,5. Precizia relativ mică se datorește faptului că mărimea tensiunii de ieșire depinde de forma curbei și de temperatură. Dependența de forma curbei tensiunii se datorește faptului că, trecerea de la tensiunea alternativă la cea continuă, pentru a putea fi comparată cu tensiunea de referință, se face prin redresare. Valoarea tensiunii redresate comparate, este egală cu valoarea de vîrf a semiperioadei tensiunii alternative. Cu alte cuvinte, instalația prezentată stabilizează valoarea de vîrf și nu valoarea medie a semiperioadei alternative. De asemenea, există o dependență de temperatura mediului ambiant, deoarece variațiile tensiunii de referință dată de dioda ZL6 nu sînt perfect compensate de dioda D809.

2.3.5. *Instalație stabilizată de curent continuu cu valori predeterminate ale curenților*

Pentru etalonarea miliampermetrelor de curent continuu ale uzinei Electromagnetica s-a confecționat o sursă de curent continuu cu valori predeterminate. Curentul dorit se obține

printr-o apăsare pe butoanele unei claviaturi. Se poate obține orice curent între 1 mA și 999 mA din 1 mA în 1 mA. Precizia de obținere a curenților este $\pm 0{,}5\%$ suficientă pentru producția miliampermetrelor în clasă 1,5 a uzinei Electromagnetica.

Stabilizatorul se compune din 3 plăci stabilizatoare. Prima furnizează curenți de la 1 mA la 9 mA din 1 mA în 1 mA. A doua placă furnizează curenții de la 10 mA la 90 mA din 10 mA în 10 mA. Placa a treia furnizează din 100 mA în 100 mA curenții de 100 mA la 1 000 mA. Toate cele trei plăci debitează în paralel pe bornele de ieșire ale stabilizatorului. Din combinațiile curenților debitați de cele trei plăci rezultă valorile dorite ale curenților furnizați de stabilizator.

Din cauza dimensiunii, schema nu a fost introdusă în prezenta lucrare, cei interesați putînd să se documenteze din lucrarea [20].

2.3.6. *Instalație stabilizată de curent continuu cu valori predeterminate de tensiuni*

În cadrul uzinei Electromagnetica s-a realizat un stabilizator, cu tensiuni predeterminate, pentru etalonarea voltmetrelor de curent continuu din producția curentă. Tensiunile dorite se obțin printr-o simplă apăsare pe butoanele unei claviaturi. Se obține orice tensiune dorită între 1...99,9 V din 0,1 V în 0,1 V cu o precizie de 0,5%, suficientă ca precizie pentru producția de voltmetre, de clasă 1,5, a uzinei Electromagnetica. Curentul maxim debitat de stabilizator este de 400 mA. Stația poate alimenta 20 instrumente în paralel.

Stabilizatorul se compune din 5 plăci stabilizatoare. Prima placă stabilizatoare furnizează tensiunile de la 1 V la 9,9 V din 0,1 V în 0,1 V. Celelalte 3 plăci stabilizatoare furnizează fiecare tensiunile 10 V, 20 V și 30 V din însumarea cărora rezultă tensiunile din 10 în 10 V pînă la 90 V. Din însumarea tensiunilor celor 3 plăci cu prima placă rezultă tensiunile de la 1 V la 99,9 V. Placa 5 este o placă care furnizează o tensiune stabilă de 17 V care joacă rolul de prestabilizator pentru placa 1 V...9,9 V. Schema instalației poate fi găsită în lucrarea [20].

2.3.7. *Aparataj pentru verificarea automată a ampermetrelor, voltmetrelor și a wattmetrelor în curent continuu*

Una din căile posibile de creare a aparatajului automat de control are la bază regimul dinamic de control, în care controlul se efectuează în decursul unei deplasări continue a acului indicator în lungul scării gradate, fără staționarea lui pe reperele care se verifică. Asemenea dispozitive îmbină în ele simplitatea relativă a construcției cu caracteristicile metrologice superioare necesare. Eroarea proprie regimului dinamic, provocată de caracteristicile dinamice ale aparatelor controlate, practic nu influențează asupra preciziei verificării, deoarece ea poate fi eliminată printr-o prelucrare a rezultatelor verificării. Cel mai simplu din toate procedeele posibile de eliminare a erorii dinamice, se bazează pe dependența ei liniară de viteza de deplasare a acului indicator. Se poate demonstra că rezultatele verificării nu mai sînt afectate de eroarea dinamică, în cazul în care verificarea se efectuează la două viteze care diferă una de cealaltă de un număr cunoscut de ori. În acest caz, eroarea statică a aparatului (considerată în regimul static de control) se determină, pentru fiecare din reperele verificate ale scării, ca o diferență între eroarea dublă la o viteză mai mică și eroarea considerată la o viteză mai mare de deplasare a acului indicator.

Acest procedeu de control s-a pus la baza aparatajului automat elaborat de Institutul unional de cercetări științifice pentru metrologie al Uniunii Sovietice. O caracteristică a acestui aparataj o constituie automatizarea totală a funcționării lui. Partea de măsurat a aparatajului automat de control elaborat se bazează pe principiul compensării incomplete și anume : se compară valoarea nominală a semnalului cu cea reală, care corespunde reperului verificat, iar semnalul diferențial corespunzător, proporțional cu eroarea aparatului verificat, se măsoară cu ajutorul unui dispozitiv numeric, la care condițiile de precizie sînt cu atît mai puțin exigente, cu cît mai ridicat este gradul de compensare respectiv.

Schema bloc a aparatajului este prezentată în fig. 2.22.

Partea energetică este constituită dintr-un formator al semnalului de la intrare *FS1*, care asigură trimiterea auto-

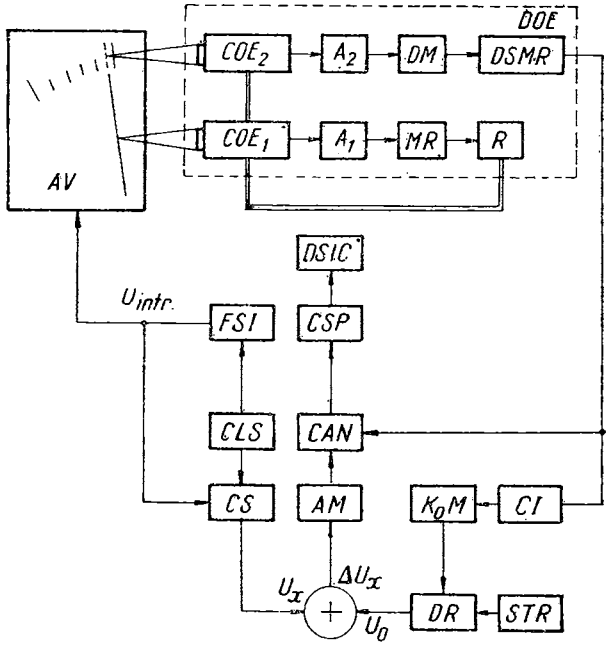


Fig. 2.22. Schema bloc a aparatajului pentru verificarea automată a ampermetrelor, voltmetrelor și a wattmetrelor în curent continuu.

mată la aparatul de verificat *AV* a uneia sau a două unde de tensiune sau de curent de formă triunghiulară, cu pantă egală și cu amplitudinea și puterea necesară pentru verificarea aparatelor. Abaterea de la caracteristica liniară a semnalului de ieșire *FSI* nu depășește 0,5%, iar perioada de variație este cuprinsă între 100 și 1 600 s.

Citirea automată este asigurată cu ajutorul unui dispozitiv optico-electronic *DOE*, care înregistrează suprapunerea acului indicator cu reperul controlat. Eroarea de determinare a suprapunerii mijlocului acului indicator cu acela al reperelor verificate ale scării în regim dinamic, este mai mică de $\pm$ 0,01 %.

Aparatul de verificat *AV* se fixează în cîmpul vizual al *DOE*. Axa de rotație a organului mobil al aparatului contro-

lat se suprapune cu axa de rotație a blocului mobil *DOE*, care conține două convertoare optico-electronice legate rigid între ele COE_1 și COE_2, funcționînd prin modularea fluxului luminos. Axele cîmpurilor vizuale ale ambelor convertoare *COE*, limitate de fantele corespunzătoare, sînt suprapuse și se află amplasate în lungul razei scării gradate. În cîmpul vizual al COE_1 se găsește numai acul indicator, iar în cîmpul vizual al COE_2 se găsește numai reperul de verificat al scării gradate.

La emiterea spre aparat a semnalului de intrare COE_1 cu ajutorul sistemului de urmărire optico-electronic (amplificatorul A_1, motorul reversibil *MR*, reductorul *R*) se realizează o urmărire continuă a acului indicator, deplasînd blocul mobil în lungul scării. La suprapunerea cîmpului vizual al COE_2 cu axa de simetrie a reperului verificat, se produce la ieșirea lui COE_2 un semnal electric modulat, care după amplificarea lui prin A_2, demodulare cu ajutorul lui *DM* și formare cu ajutorul dispozitivului electronic de separarea mijlocului reperului *DSRM*, constituie semnalul de suprapunere a acului indicator cu reperul verificat și se utilizează drept un semnal de comandă pentru măsurarea erorii corespunzătoare reperului considerat al scării. Eroarea este egală cu diferența între semnalul real de la intrare, care ajunge de la *FSI* prin convertorul de scară *CS* și semnalul de referință, care sosește de la sursa tensiunii de referință *STR* prin divizorul *DR* cu valori ce corespund reperului verificat al scării. Comutarea nivelurilor de referință ale divizorului *DR*, în mod corespunzător cu reperele scării, se face după programul prescris cu ajutorul comutatorului automat *KOM* comandat prin circuitul de întîrziere *CI* de același semnal de suprapunere de la *DSMR*.

Semnalul obținut prin comparare U_x este amplificat cu ajutorul amplificatorului de măsurat *AM* și ajunge la intrarea convertorului rapid analog-numeric *CAN*, unde valoarea momentană a lui U_x se transformă într-un număr de impulsuri. Succesiunile de impulsuri ajung la intrarea unui calculator specializat *CSP*, atît la mersul direct al verificării, cît și la cel invers, întîi pentru una din vitezele de control,

iar apoi în aceeași succesiune pentru cealaltă viteză de control. În calculator se realizează prelucrarea necesară a rezultatelor și se obțin valorile erorilor în regim static pentru mersul direct și cel invers al operației de control. Pentru determinarea variației aparatului, se calculează la același calculator diferența între aceste erori statice. Valorile calculate ale erorilor și variațiile lor se transmit la dispozitivul standardizat de imprimare a cifrelor *DSIC*, care le fixează într-un fel de proces verbal al controlului efectuat.

Rolul persoanei care efectuează controlul se reduce la acela de a fixa aparatul pe banc, de a supraveghea axele de rotație ale organului mobil al aparatului cu blocul mobil *DOE* după scara nominalizată pe ecranul său și apoi de a pune în funcțiune a sistemului automat. Operațiile de verificare, de interpretare a rezultatelor și alcătuirea procesului verbal de verificare se efectuează fără participarea operatorului.

Cea mai esențială din toate sursele de erori ale *DOE* constă din eroarea la imprecizia de suprapunere a axelor de rotație a blocului *COE* cu organul mobil al aparatului. Această imprecizie duce la pierderea sensibilității *COE* și la eroarea provocată de deplasarea centrului fantei de citire a COE_2 de pe raza corespunzătoare a arcului scării gradate. Această eroare poate ajunge pînă la 0,008...0,01%, în condițiile reale de exploatare.

Eliminarea erorii de paralaxă care apare la proiectarea indicatorului și a scării aparatului care sînt amplasate în planuri diferite, este asigurată din punct de vedere constructiv prin suprapunerea axei de rotație a blocului *COE* cu axa optică a obiectivului.

Aparatajul construit este destinat certificării automate a aparatelor electrice de măsurat cu ac indicator, care au limitele de măsurare a tensiunii cuprinsă între 45 mV...600 V, iar pentru curent 45 μA...30 A. Controlul automat durează circa 5 min.

Studiul aparatajului realizat a arătat că eroarea totală nu depășește 0,02%, ceea ce permite utilizarea acestui aparataj pentru controlul obiectiv în curent continuu al aparatelor electrice de măsurat cele mai precise, de clasă 0,1.

2.3.8. *Instalații de mare productivitate pentru gradarea și verificarea aparatelor de măsurat de curent continuu*

În Uniunea Sovietică, la uzina Tocielektropribor s-au executat mai multe instalații realizate sub formă de pupitre care îmbunătățesc condițiile de lucru la gradarea și verificarea aparatelor de măsurat electrice.

Instalația US-80 este folosită la gradarea ampermetrelor de clasă 0,2 și 0,5, cu limitele de măsurare 10 mA ; 25 mA ; 40 mA ; 50 mA ; 100 mA ; 200 mA ; 250 mA ; 500 mA ; 1 A ; 2,5 A ; 5 A și 10 A. Valoarea curentului în orice punct al scării poate fi variat cu $\pm 0{,}6\%$ astfel încît agregatul poate servi și la verificarea aparatelor.

Valoarea curentului se menține constantă cu o eroare de cel mult $\pm 0{,}04\%$, la variațiile tensiunii de rețea de $\pm 10\%$ și ale temperaturii cuprinse între $+15°$ C și $+30°$ C. Puterea absorbită este de maxim 200 VA, iar puterea la ieșire 30 W.

Elementele agregatului sînt : pupitrul de comandă, dispozitivul de alimentare, dispozitivul de etalonare al curentului și automatul pentru comutarea curenților și aducerea acului indicator al aparatului în poziția corespunzătoare la unul din cele 20 puncte în care este împărțit fiecare interval de măsurare pe scara respectivă.

Dispozitivul de alimentare împreună cu cel de etalonare a curentului este un stabilizator de curent cu un amplificator cu fotocompensare. Ca sursă de tensiune de referință se folosește un stabilizator parametric de tensiune cu două etaje, iar drept element de execuție al stabilizatorului servește un tranzistor special.

Dispozitivul de etalonare a curentului se compune dintr-un set de rezistoare etalon. Căderea de tensiune care dă naștere la trecerea curentului prin aceste rezistoare este comparată cu tensiunea de referință. În circuitul de referință este conectat galvanometrul amplificatorului cu fotocompensare.

Automatul pentru reglarea curentului la valorile dorite se compune dintr-un montaj de relee. Prizele divizorului de tensiune de referință se comută cu ajutorul unui selector pe baza comenzilor emise de un releu temporizat reglat pentru intervalul de 2...15 s.

Instalația US-100 servește la gradarea semiautomată a wattmetrelor de clasă 0,5. Curentul la ieșire este stabilizat cu o eroare de maximum $\pm 0{,}04\%$, iar tensiunea cu $\pm 0{,}02\%$. Eroarea globală maximă se ridică la $\pm 0{,}06\%$.

Stabilizatorul de tensiune are coeficientul de stabilizare de ordinul 1 000. Componenta alternativă la ieșire nu depășește 1%.

Automatul pentru reglarea punctelor pe scară fixează programul de gradare al aparatului: comută curentul, determină sensul gradării și schimbă polaritatea curentului și a tensiunii la ieșire.

Instalațiile US-149 și US-150, deservite de un singur controlor, folosesc la reducerea volumului de muncă și la îmbunătățirea verificării voltmetrelor și a ampermetrelor.

Cu instalația US-149 se controlează voltmetrele cu limitele de măsurare 1,5...600 V. Tensiunea de ieșire se menține constantă cu eroarea de $\pm 0{,}04\%$. Curenții de sarcină sînt 200 mA pentru 1,5 V și 30 mA pentru 600 V.

Tensiunea de ieșire se poate varia în limitele de $\pm 0{,}6\%$ la intervale de 0,05% la orice reper, ceea ce permite determinarea erorii voltmetrelor de clasă 0,2 și 0,5.

Instalația US-150 este analoagă cu cea descrisă mai sus și permite verificarea ampermetrelor de clasă 0,2 și 0,5 cu intervalul de măsurare 10 mA...10 A. Curentul la ieșire se menține constant cu o eroare de maxim $\pm 0{,}04\%$, la o putere de ieșire pînă la 30 W.

2.3.9. *Instalație portativă pentru verificarea aparatelor electrice*

La Institutul unional de măsurări al Uniunii Sovietice s-a realizat o instalație portativă pentru verificarea fazmetrelor, wattmetrelor, ampermetrelor, voltmetrelor și contoarelor, necesară pentru măsurări pe teren. Instalația are o masă relativ mică și dimensiuni reduse și nu este destinată instalațiilor fixe.

Reglajul curentului și al tensiunii este realizat prin autotransformatoare de reglaj. Pentru asigurarea unui reglaj continuu al tensiunii și curentului în cazul verificării aparatelor monofazate, în schema instalației este prevăzut un comutator cu ajutorul căruia autotransformatorul primei

faze poate fi deconectat de la rețea și conectat la autotransformatorul fazei a doua. În acest fel autotransformatorul este folosit drept treapta a doua de reglaj.

Instalația este montată în două valize: în prima sînt cuprinse toate elementele circuitului de tensiune, precum și regulatorul de fază, iar în a doua toate elementele circuitului de curent. Dimensiunile fiecărei valize sînt 50 × 50 × 25 cm și masa 40 kg.

Alimentarea instalației se face de la rețeaua trifazată de 220 V sau 380 V. În funcție de tensiunea rețelei, în instalație există prevăzută posibilitatea comutării înfășurărilor regulatorului de fază și a transformatoarelor de reglaj.

Pe panoul superior al valizei cuprinzînd circuitele de tensiune se găsesc: bornele pentru conectarea instalației la rețeaua trifazată de 220 V sau 380 V; un întreruptor tripolar, siguranțe (curentul nominal 2 A); bornele pentru corectarea aparatelor de verificat, trei perechi de borne penconectarea aparatelor de măsurat etalon (wattmetre sau voltmetre), comutatorul pentru comutarea autotransformatoarelor de reglaj pentru obținerea unui reglaj continuu pe prima fază, un comutator pentru 150 V — 300 V — 450 V, pentru comutarea limitelor de tensiune a instalației și a scărilor de măsură a voltmetrelor; comutatorul pentru comutarea montajului wattmetrelor care dă posibilitatea realizării montajului de conectare a wattmetrelor corespunzător schemei electrice a aparatelor de verificat; comutatorul pentru scările de măsură ale circuitelor de tensiune ale wattmetrelor; comutatorul pentru comutarea voltmetrelor pe tensiunea pe fază și între faze; trei voltmetre cu 3 scări de măsură 150—300—450 V pentru controlul tensiunii pe fiecare fază.

În centrul panoului se găsește manivela regulatorului de fază. Regulatorul de fază asigură obținerea unui unghi de decalaj a tensiunii față de curent de la 0° pînă la 120°. În jurul panoului este montată instalația de reglaj a circuitului de tensiune, formată din trei autotransformatoare cu ajutorul cărora se obține reglajul tensiunii de la 0 pînă la 450 V.

Pe panoul valizei circuitului de curent se găsesc: bornele pentru conectarea instalației la rețeaua trifazată; întreruptorul tripolar; siguranțele (curent nominal 2A); bornele pentru conectarea aparatelor de verificat; trei perechi de borne pentru conectarea aparatelor de măsurat etalon; co-

mutatorul pentru comutarea autotransformatoarelor pentru obținerea unui reglaj continuu a curentului din faza întîia; trei ampermetre conectate prin intermediul unor transformatoare de curent și destinate pentru controlul curentului din fiecare fază. În mijlocul panoului sînt așezate comutatoarele cu fișă a scărilor de măsură ale celor trei transformatoare de curent care alimentează wattmetrele și ampermetrele instalației. Comutatoarele transformatoarelor sînt modificate în așa fel încît concomitent cu comutarea scării de măsură se comută și înfășurarea transformatorului de sarcină. În josul panoului este montată instalația de reglaj a circuitului de curent formată din trei autotransformatoare.

În completul instalației portabile nu sînt prevăzute aparatele de măsurat etalon, deoarece acestea se găsesc de obicei chiar la locurile de verificare; conectarea lor în ansamblul completului instalației ar mări în mod considerabil masa și gabaritele instalației.

Instalația poate fi utilizată în cadrul unui laborator mobil pe o mașină. În acest caz, este comod ca panourile pentru fixarea contoarelor să fie montate pe mașini în mod definitiv.

Pentru funcționarea instalației, ambele valize se așază pe masă, iar între ele se montează 3 wattmetre care se conectează la bornele „Wattmetru" ale ambelor valize. Wattmetrele trebuie să fie de un anumit tip avînd în vedere că în instalație sînt prevăzute rezistențe adiționale speciale.

Încercările au arătat că tensiunea secundară a regulatorului de fază pentru o rotire a rotorului cu un unghi pînă la 120° variază cel mult cu 1%. Forma curbei de curent și de tensiune este practic sinusoidală. Reglajul tensiunii și al curentului se realizează fără influență reciprocă și asigură fixarea oricărui punct de funcționare necesar.

Experiența utilizării instalației a arătat că ea este comodă și satisface complect scopul căruia a fost destinată.

2.3.10. *Tipuri de divizoare inductive*

La Institutul Național de Metrologie din București s-au realizat mai multe tipuri de divizoare inductive de tensiune.

În tabelul 2.1 sînt prezentate caracteristicile unor divizoare inductive de tensiune, în decade, fabricate de diverse firme străine în comparație cu cele ale divizoarelor inductive produse de Institutul Național de Metrologie din București.

Tabelul 2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Guildline Instr. Ltd. (Canada)	9950	0...1,000000	7	0,05... 2	5.10^{-7}	70	3	200 sau 0,2 *f*
AOIP Mesures (Franța)	DVT	—	6	0,05... 5	4.10^{-6}	ord. MΩ	ord. MΩ	250 sau 2 *f*
North Atlantic Ind. Inc. (S.U.A.)	RB-525	—	6	0.05... 3	$2,5 \cdot 10^{-6}$	30	4	0,35 *f*
H.W. Sullivan (Anglia)	F 9100	0...1,111	4	0,02...10	1.10^{-5}	70	5	200 sau 0,2 *f*
G.L. Collins Corp. (S.U.A.)	DRT-201	0...1,0000	5	0,5 ...10	2.10^{-5}	—	5	500 sau 0,35 *f*
Electro-Scientific Ind. (S.U.A)	DT72-A	—	3	0,03... 1	2.10^{-4}	—	—	—
Arnold Magnetics Corp (S.U.A.)	DIGI-BOX	0...0,999	4	—	8.10^{-5}	—	—	—

Observație. Deoarece tensiunea maximă reprezintă o limită deasupra căreia precizia divizorului începe să fie influențată de efectele de saturație a miezului magnetic, aceasta se exprimă sub forma $k \cdot f$, în care f este frecvența în Hz, întrucît limita de saturație depinde de frecvență. În plus se specifică și o tensiune limită fixă.

Tabelul 2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Guildline Instr. Ltd. (Canada)	9950	0...1,000000	7	0,05... 2	5.10^{-7}	70	3	200 sau 0,2 *f*
AOIP Mesures (Franţa)	DVT	—	6	0,05... 5	4.10^{-6}	ord. MΩ	ord. MΩ	250 sau 2 *f*
North Atlantic Ind. Inc. (S.U.A.)	RB-525	—	6	0.05... 3	$2,5 \cdot 10^{-6}$	30	4	0,35 *f*
H.W. Sullivan (Anglia)	F 9100	0...1,111	4	0,02...10	1.10^{-5}	70	5	200 sau 0,2 *f*
G.L. Collins Corp. (S.U.A.)	DRT-201	0...1,0000	5	0,5 ...10	2.10^{-5}	—	5	500 sau 0,35 *f*
Electro-Scientific Ind. (S.U.A)	DT72-A	—	3	0,03... 1	2.10^{-4}	—	—	—
Arnold Magnetics Corp (S.U.A.)	DIGI-BOX	0...0,999	4	—	8.10^{-5}	—	—	—

Observaţie. Deoarece tensiunea maximă reprezintă o limită deasupra căreia precizia divizorului începe să fie influenţată de efectele de saturaţie a miezului magnetic, aceasta se exprimă sub forma $k \cdot f$, în care f este frecvenţa în Hz, întrucît limita de saturaţie depinde de frecvenţă. În plus se specifică şi o tensiune limită fixă.

3. Verificarea transformatoarelor de măsură

3.1. Clasificarea transformatoarelor de măsură

3.1.1. *Clasificarea transformatoarelor de măsură de tensiune*

Principalele criterii de clasificare ale transformatoarelor de măsură sînt următoarele :

După tensiunea nominală primară. Transformatoarele de tensiune se fabrică cu următoarele valori ale tensiunii primare : 380 V, 500 V, 660 V, 3 kV, 5 kV, 6 kV, 10 kV, 20 kV, 25 kV, 30 kV, 35 kV, $\frac{60}{\sqrt{3}}$ kV, $\frac{110}{\sqrt{3}}$ kV, $\frac{220}{\sqrt{3}}$ kV (tensiunile nominale primare pînă la 35 kV inclusiv, pot fi divizate cu $\sqrt{3}$).

După tensiunea nominală secundară. Transformatoarele de tensiune se construiesc pentru tensiunile secundare de 100 V, $\frac{100}{\sqrt{3}}$ sau $\frac{100}{3}$ V.

După clasa de precizie. Transformatoarele de tensiune se fabrică în următoarele clase de precizie : 0,2 ; 0,5 ; 1 şi 3.

După numărul intervalelor de măsurare. Transformatoarele de tensiune se construiesc cu un singur interval de măsurare sau cu mai multe intervale de măsurare.

După numărul de înfăşurări. Transformatoarele de tensiune se fabrică cu o singură înfăşurare secundară sau cu mai multe înfăşurări secundare.

După numărul de faze. Transformatoarele de tensiune pot fi :

— monofazate ;
— bifazate ;
— trifazate.

După felul instalației, transformatoarele se clasifică în :

— transformatoare pentru instalații interioare ;
— transformatoare pentru instalații exterioare.

După felul izolației, transformatoarele se împart în :

— transformatoare în aer ;
— transformatoare în ulei ;
— transformatoare înglobate în rășini.

3.1.2. *Principalele date constructive ale transformatoarelor de măsură de tensiune*

Transformatorul propriu-zis este format dintr-un circuit magnetic alcătuit din tole feromagnetice și mai multe înfășurări izolate atît între ele, cît și față de circuitul magnetic. În funcție de felul izolației, aer sau ulei, transformatorul este prevăzut cu o cutie sau o cuvă de ulei. Transformatorul mai are și un capac pe care sînt dispuse bornele de acces ale înfășurărilor transformatorului, prevăzute sau nu cu izolatoare de înaltă tensiune.

Izolația înfășurării primare a transformatorului de tensiune trebuie să suporte la 50 Hz, o tensiune de încercare cuprinsă între 3 și 395 kV, în funcție de tensiunea nominală aplicată timp de 1 min. între înfășurarea primară și înfășurarea secundară conectată la piesele metalice legate la pămînt.

Izolația între spire, la transformatoarele de tensiune, se încearcă cu o tensiune indusă la frecvența de 50 Hz sau mai mare. Această tensiune indusă se obține prin alimentarea înfășurării secundare pînă la obținerea în primar a unei tensiuni de încercare de valoare cuprinsă între 1,25 și 390 kV, în funcție de tensiunea nominală. Timpul de încercare la 50 Hz este de 5 min.

Izolația înfășurărilor secundare trebuie să suporte o tensiune de încercare de 2 kV — 50 Hz aplicată între înfășurarea secundară respectivă și celelalte înfășurări conectate cu piesele care se leagă la pămînt.

Limitele admisibile ale erorilor transformatorului de tensiune sînt indicate în tabelul 3.1, în următoarele condiții :

Tabelul 3.1

Clasa de precizie	Eroarea tolerată	
	de tensiune, %	de unghi, min.
0,2	± 0,2	± 10
0,5	± 0,5	± 20
1	± 1	± 40
3	± 3	—

— frecvența 50 Hz ;

— tensiunea primară $U_1 = 0{,}8\ U_{1N} \ldots 1{,}2\ U_{1N}$, unde U_{1N} este tensiunea nominală primară ;

— puterea în secundar cuprinsă între

$$(0{,}25 \ldots 1)\left(\frac{U_1}{U_{1N}}\right)^2 S_{ZN},$$

unde S_{ZN} este puterea secundară aparentă nominală ;

— factor de putere cos $\varphi = 0{,}8$ inductiv ;

3.1.3. *Clasificarea transformatoarelor de măsură de curent*

Principalele criterii de clasificare ale transformatoarelor de măsură de curent sînt următoarele :

După curentul nominal primar. Transformatoarele de curent se fabrică cu următoarele valori ale curentului primar : 5 A ; 10 A ; (12,5 A) ; 15 A ; 20 A ; (25 A) ; 30 A ; (40 A) ; 50 A ; 60 A ; 75 A precum și multiplii zecimali.

Valorile înscrise în paranteze, conform instrucțiunilor metrologice în vigoare, se vor evita la proiectarea și construirea transformatoarelor de curent.

După tensiunea de izolație. Transformatoarele de curent se construiesc pentru tensiunile : 0,5 kV ; 3 kV ; 6 kV ; 10 kV ; 15 kV ; 20 kV ; 25 kV ; 35 kV ; 60 kV ; 110 kV ; și 220 kV.

După curentul nominal secundar. Transformatoarele de curent se fabrică pentru 5 A și 1 A.

După puterea nominală. Transformatoarele se construiesc pentru următoarele valori ale puterii nominale: 5 VA; 10 VA; 15 VA; 30 VA și 60 VA.

La depășirea puterii nominale a transformatoarelor de curent, eroarea măsurării este mai mare decît limita corespunzătoare clasei de precizie.

După clasa de precizie. Transformatoarele se construiesc în următoarele clase de precizie: 0,1; 0,2; 0,5; 1 și 3.

După felul instalației, transformatoarele se clasifică în:

— transformatoare pentru instalații interioare;

— transformatoare pentru instalații exterioare;

— transformatoare pentru instalații complexe destinate a fi montate în întreruptoare sau transformatoare de putere.

După numărul înfășurărilor secundare, transformatoarele se clasifică în:

— transformatoare cu o singură înfășurare;

— transformatoare cu două sau mai multe înfășurări.

După felul înfășurării primare, transformatoarele se împart în:

— transformatoare cu bobinaj primar;

— transformatoare fără bobinaj primar, la care bobinajul este constituit din însuși conductorul prin care trece curentul de măsurat.

După mobilitate, transformatoarele se clasifică în:

— transformatoare fixe;

— transformatoare portabile.

După izolația dintre bobinajul primar și cel secundar, transformatoarele se împart în:

— transformatoare în aer;

— transformatoare în ulei;

— transformatoare înglobate în rășini;

— transformatoare cu izolație din materiale ceramice etc.

După numărul domeniilor de măsurare, transformatoarele de curent se împart în:

— transformatoare cu un singur domeniu de măsurare;

— transformatoare cu mai multe domenii de măsurare.

3.1.4. *Principalele date constructive ale transformatoarelor de măsură de curent*

Transformatoarele de măsură de curent se compun din următoarele părți principale:

Circuitul magnetic, format dintr-un pachet de tole izolate electric între ele. Circuitul magnetic mai poate fi format dintr-o bandă înfășurată în formă de rolă, cu spirele izolate electric între ele.

Bobinajul primar și unul sau mai multe *bobinaje secundare* înfășurate în jurul miezului magnetic. Pentru valori mari ale curentului de măsurat, bobinajul primar poate să lipsească, el fiind înlocuit printr-o bară sau cablul prin care trece curentul.

Materialul izolant (ulei, aer, material ceramic sau plastic etc.) care are ca scop asigurarea izolației electrice între înfășurarea primară, cea secundară, circuitul magnetic și celelalte părți metalice.

Izolația bobinelor se realizează corespunzător tensiunii nominale pentru care a fost construit transformatorul. Ea trebuie să suporte tensiuni de încercare de la 3 la 460 kV, la 50 Hz, în funcție de tensiunea nominală. Tensiunea de încercare la frecvența de 50 Hz se aplică timp de 1 min între înfășurarea primară și secundară conectată cu piesele care se leagă la pământ. Transformatoarele de exterior se încearcă la tensiunea de încercare sub ploaie.

Izolația înfășurării secundare a transformatoarelor de curent este încercată cu o tensiune de 2 kV, la frecvența de 50 Hz, aplicată timp de 1 min între înfășurarea secundară și înfășurarea primară conectată cu piesele care se leagă la pământ. La transformatoarele cu mai multe înfășurări secundare, se încearcă și izolația dintre înfășurările secundare aplicînd o tensiune de 2 kV la 50 Hz, timp de 1 min, între fiecare dintre înfășurări și celelalte înfășurări conectate cu piesele care se leagă la pământ.

Pentru verificarea spirelor una față de alta, se alimentează transformatorul de curent timp de 1 min cu un curent

egal cu valoarea curentului nominal primar, la frecvența nominală, avînd înfășurarea secundară deschisă.

Bobinajele sînt bine fixate constructiv pentru ca transformatorul să reziste la curentul limită dinamic fără să prezinte deteriorări.

Limitele admise ale erorilor transformatorului de curent în funcție de clasa de precizie, de curentul care trece prin înfășurarea primară și de sarcina nominală, sînt indicate în tabelul 3.2, pentru frecvența nominală de 50 Hz și temperatura mediului ambiant cuprinsă între valorile —30°C și +40°C.

Tabelul 3.2

Clasa de precizie	Curentul primar în % din curentul nominal	Eroarea tolerată	
		de curent %	de unghi (minute sexagesimale)
0,1	120...100	± 0,10	± 6
	20	± 0,15	± 10
	10	± 0,20	± 12
0,2	120...100	± 0,20	± 10
	20	± 0,35	± 15
	10	± 0,50	± 20
0,5	120...100	± 0,50	± 30
	20	± 0,75	± 40
	10	± 1,00	± 60
1	120...100	± 1,00	± 60
	20	± 1,50	± 80
	10	± 2,00	± 120
3	100... 50	± 3,00	—

La verificare, curbele erorilor de curent și de unghi nu trebuie să iasă din zona cuprinsă între liniile frînte care unesc punctele de erori indicate în tabelul de mai sus.

3.2. Metode de verificare a transformatoarelor de măsură

3.2.1. *Metode de verificare a funcționării transformatoarelor de măsură de tensiune*

Determinarea erorilor de tensiune și de unghi la transformatoarele de tensiune se face prin :

— metode de comparație ;

— metode directe.

Aceste metode se întrebuințează în funcție de clasa de precizie a transformatorului conform tabelului 3.3.

Tabelul 3.3

Clasa de precizie	Metoda de verificare
0,2 ; 0,5 ; 1	Metode de comparație
3	Metode directe

Verificarea prin metoda măsurării directe a tensiunilor. Instalațiile pentru verificarea transformatoarelor de tensiune de clasă de precizie 3, ale căror erori de unghi nu se verifică, sînt arătate în figurile 3.1 *a* și *b*. Tensiunea primară se măsoară fie direct cu voltmetrul V_1, fie prin intermediul transformatorului etalon T_E. Tensiunea secundară se determină cu voltmetrele V_2.

Voltmetrele V_1 și V_2 trebuie să fie de tip electrodinamic sau electromagnetic și să aibă o clasă de precizie mai bună de 0,5. Transformatorul etalon T_E trebuie să aibă clasa de precizie 0,2.

Eroarea de tensiune în cazul instalației din fig. 3.1, *a* se determină cu ajutorul relației

$$\varepsilon\% = \frac{k_{nv}U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%,$$

în care : U_1 este indicația voltmetrului V_1 ; U_2 — indicația voltmetrului V_2 ; k_{nv} — raportul de transformare al transformatorului de verificat.

În cazul montajului din fig. 3.1, *b* eroarea de curent se determină cu relația

$$\varepsilon\% = \frac{k_{NV}U_2 - k_{NE}U_1}{k_{NE} \cdot U_1} \cdot 100\%$$

în care : k_{NE} este raportul de transformare al transformatorului de tensiune etalon.

Verificarea transformatoarelor de măsură de tensiune prin metode de comparație. Prin aceste metode se compară trans-

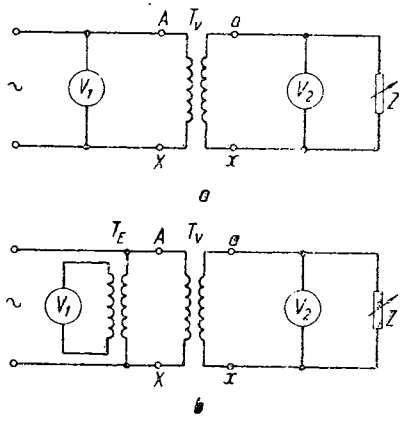


Fig. 3.1. Verificarea transformatoarelor de tensiune prin metoda măsurării directe a tensiunilor :

a — măsurarea tensiunii primare prin legarea directă a voltmetrului ; *b* — prin montarea voltmetrului în secundarul transformatorului etalon.

formatorul de verificat cu un transformator etalon, la care se cunosc erorile de tensiune și de unghi. Precizia acestor metode depinde în principal de precizia cu care sînt cunoscute erorile transformatorului etalon.

În general, montajele cu care se execută comparația celor două transformatoare sînt gata asamblate în instalații de verificare cu construcție compactă, permițînd o manipulare simplă și comodă prin citirea directă a erorilor la indicațiile butoanelor de reglaj. Instalațiile de verificare sînt realizate într-o formă industrială transportabilă, de către diferite firme producătoare.

Principiul cel mai răspîndit, care stă la baza determinării erorilor prin metodele de compensare, constă în compensarea tensiunii secundare (fig. 3.2) rezultate la conectarea diferențială a înfășurărilor secundare.

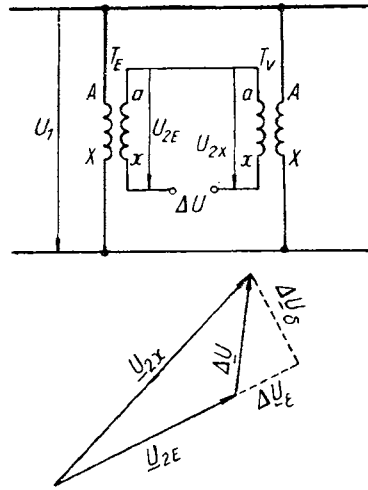


Fig. 3.2. Schema principală de verificare a transformatoarelor de tensiune prin metoda diferențială de zero.

Pentru aceasta, cele două transformatoare trebuie să aibă același raport nominal de transformare și aceleași tensiuni nominale primare și secundare.

Măsurînd componentele tensiunii rezultante în fază $\Delta \underline{U}_\varepsilon$ și în cuadratură $\Delta \underline{U}_\delta$ cu tensiunea secundară $\Delta \underline{U}_{2E}$ a transformatorului etalon T_E, se obțin erorile:

$$\varepsilon\% = \frac{\Delta \underline{U}_\varepsilon}{\underline{U}_{2E}} 100\%;$$

$$\varepsilon\% = \frac{\Delta \underline{U}_\delta}{\underline{U}_{2E}} 100\%.$$

Cunoscînd erorile transformatorului etalon ε_E și δ_E se pot calcula erorile transformatorului de verificat:

$$\varepsilon_x = \varepsilon + \varepsilon_E;$$
$$\delta_x = \delta + \delta_E.$$

Schema de principiu a unei instalații complete pentru verificarea transformatoarelor de tensiune denumită *metoda diferențială zero*, este prezentată în fig. 3.3. Înfășurările secundare ale transformatoarelor etalon și de verificat sînt conectate diferențial, iar tensiunea secundară rezultată este comparată, prin intermediul divizorului rezistiv D_T și al galvanometrului de vibrații GV, cu o tensiune culeasă de pe cele două rezistențe cu fir calibrat, egală cu suma vectorială a două componente în fază și în cuadratură cu tensiunea secundară a transformatorului etalon.

La realizarea echilibrului, cînd indicația galvanometrului se reglează la zero, se citesc direct pe rezistențele cu fir calibrat F și D valorile erorilor de tensiune ε și de unghi δ. Cunoscînd erorile transformatorului etalon se pot calcula erorile transformatorului de verificat.

De obicei întreaga schemă cu excepția transformatoarelor de verificat și etalon, precum și a rezistenței sau impedanței de sarcină Z, este asamblată într-o cutie, constituind un dispozitiv de măsurare compact, portabil.

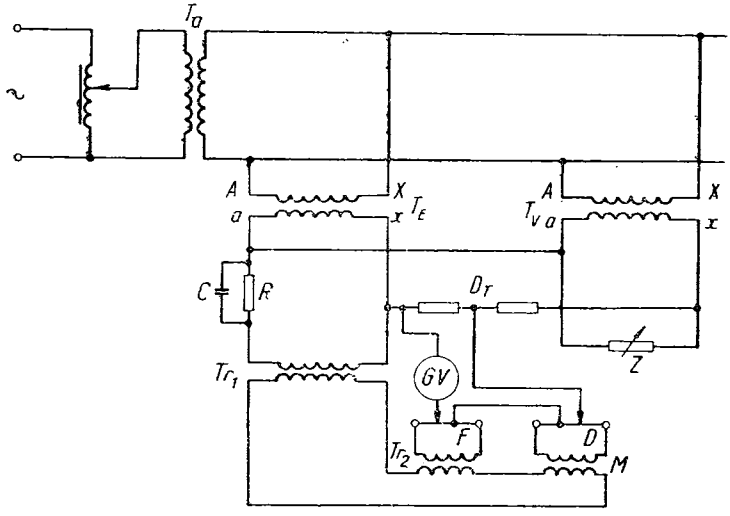


Fig. 3.3. Schema de verificare a transformatoarelor de tensiune prin metoda diferențială de zero.

Clasa de precizie a transformatoarelor cu care se verifică (etalon) se alege în funcție de transformatoarele de verificat, conform tabelului 3.4.

Tabelul 3.4

Clasa de precizie	
Transformator de verificat	Transformator etalon
0,2...0,5	0,02...0,05
1 ...3	0,2 ...0,5

Se recomandă următoarele puncte de verificare:

Clasa de precizie a transformatorului de verificat	Tensiunea primară, % din valoarea nominală	Sarcina, % din valoarea nominală	Factor de putere cos φ
0,2	80 100 120	Gol și 100	cos φ = 0,8 inductiv
0,5 și 1	90 100 110	25 și 100	cos φ = 0,8 inductiv

Forma curbei de tensiune trebuie să fie practic sinusoidală, coeficientul de distorsiune maxim admis fiind 5%.

Etalonarea transformatoarelor de tensiune de precizie ridicată. Tansformatoarele utilizate de obicei ca etaloane sînt de clasă de precizie 0,005 ; 0,1 și 0,2. Ele nu au fost luate în considerare la clasificarea transformatoarelor, întrucît sînt construcții speciale exclusiv pentru scopuri metrologice.

Aceste transformatoare se construiesc pentru tensiuni nominale primare cuprinse între 380 V și $400/\sqrt{3}$ kV și pentru tensiunile nominale secundare 100 V ; $\frac{100}{\sqrt{3}}$ și $\frac{100}{3}$ V. Puterile nominale ale transformatoarelor etalon sînt: 5 VA ; 10 VA ; 15 VA ; 30 VA și 60 VA.

În tabelul 3.5 sînt indicate erorile admisibile ale transformatoarelor etalon de tensiune, ale căror erori admisibile rămîn constante în intervalul valorilor tensiunii primare de la 40% la 120%.

Tabelul 3.5

Tensiunea primară, în % din tensiunea nominală	Valorile erorilor admisibile		
	Eroare de tensiune %	Eroare de unghi	
		′ (minute sexagesimale)	Miliradiani
40...120	±0,005	± 0,5	±0,15
	±0,01	± 1	±0,3
	±0,02	± 1,5	±0,45
	±0,05	± 3	±0,9
	±0,1	± 5	±1,5
	±0,2	±10	±3

În tabelul 3.6 sînt indicate erorile transformatoarelor etalon de tensiune, care sînt dependente de valorile tensiunii nominale primare.

Tabelul 3.6

Clasa de precizie	Tensiunea primară, în % din tensiunea nominală	Valoarea erorilor admisibile			Limitele puterii secundare, în % din puterea nominală
		Eroare de tensiune %	Eroarea de unghi		
			′	Miliradiani	
0,05	20	±0,25	±15	± 4,5	Numai pentru puteri nominale de 5 VA şi 10 VA cos φ = 1
	50... 60	±0,1	± 6	± 1,8	
	80...120	±0,005	± 3	± 0,9	
0,1	20	±0,5	±25	± 7,5	25...100
	50... 60	±0,2	±10	± 3	
	80...120	±0,1	± 5	± 1,5	
0,2	20	±1,0	±50	±15	25...100
	50... 60	±0,4	±20	± 6	
	80...120	±0,2	±10	± 3	

Pentru determinarea erorilor transformatoarelor etalon de tensiune, se folosesc metode și instalații de măsurare a căror erori sînt de cel puțin 5 ori mai mici decît eroarea admisă a transformatorului de verificat. Se admite aplicarea metodelor și instalațiilor de etalonare a căror eroare este de 2,5 ori mai mică decît eroarea admisă a transformatorului de verificat, cu condiția folosirii corecțiilor date pentru acestea.

Determinarea erorilor transformatoarelor etalon de tensiune se face în următoarele condiții:

— abaterea frecvenței de la valoarea nominală de cel mult $\pm 2\%$;

— temperatura mediului ambiant cuprinsă între $+15°C$ și $+30°C$;

— presiunea atmosferică corespunzătoare altitudinii cuprinse între 0...1 000 m;

— factorul de distorsiune al curbei tensiunii de cel mult 5%.

Înainte de etalonare se verifică polaritatea bornelor și se demagnetizează circuitul magnetic.

Determinarea erorilor transformatoarelor etalon de tensiune se face prin două categorii de metode:

metode de comparație, în care transformatorul de verificat se compară cu un alt transformator etalon;

metode absolute, în care erorile transformatorului se determină fără utilizarea altui transformator etalon.

În general, metodele de comparație nu sînt recomandate pentru etalonări de transformatoare etalon de tensiune. Ele pot fi totuși folosite în cazul transformatoarelor de clasă de precizie 0,2, cu respectarea condițiillor referitoare la erorile maxime admise ale ansamblului transformator, etalon și instalația de comparare.

Metoda divizorului inductiv de tensiune are, după cum am spus în cap. 2, aplicare largă și la verificarea transformatoarelor de tensiune de precizie solicitată. Astfel, în fig. 3.4 sînt date două scheme pentru etalonarea acestora.

Folosind condensatoarele variabile în decade și alegînd în mod convenabil valoarea rezistențelor R, se poate obține citirea directă a erorii de unghi pe decadele condensatoarelor C_1 și C_2. Prima schemă se poate folosi la etalonarea transformatoarelor a căror tensiune primară nu depășește tensiunea

maximă admisă la intrarea divizorului inductiv. Schema a doua, care cuprinde și un transformator de tensiune etalon T_E, se poate folosi pentru etalonarea transformatoarelor cu tensiune primară mai mare decît tensiunea maximă admisă

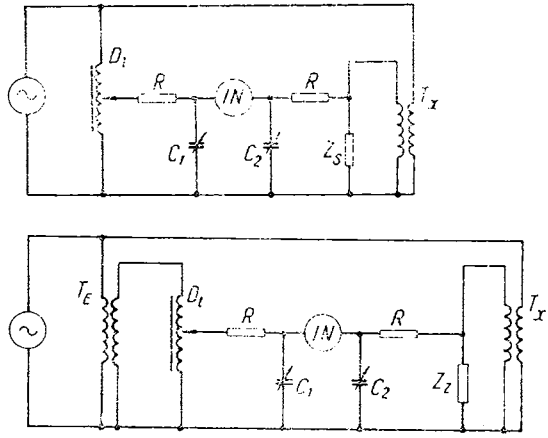


Fig. 3.4. Scheme pentru etalonarea transformatoarelor de tensiune prin metoda divizorului inductiv de tensiune.

la intrarea divizorului. Această schemă are avantajul că tensiunile secundare nominale ale transformatoarelor etalon și de verificat pot fi diferite.

Una din metodele absolute potrivite pentru etalonarea transformatoarelor de precizie de tensiune, este și *metoda comparatorului inductiv de curent* utilizat într-un montaj de măsurare cu două condensatoare. Comparatorul inductiv de curent este format dintr-un miez feromagnetic de permeabilitate ridicată, pe care se află bobinate două înfășurări parcurse de curenții de comparat și o a treia numită înfășurare de detecție, care indică anularea fluxului magnetic din miez. Comparatorul poate fi prevăzut și cu o înfășurare pentru ajustarea fină a echilibrului, curentul din această înfășurare fiind proporțional cu diferența dintre curenții comparați.

Folosirea comparatorului inductiv de curent la etalonarea transformatoarelor etalon de tensiune se bazează pe măsurarea raportului curenților care circulă prin două condensa-

toare C_1 și C_2 conectate în primarul și secundarul transformatorului de verificat. Schema simplificată a instalației este prezentată în fig. 3.5.

Sursa de tensiune T_a alimentează primarul transformatorului de verificat T_v al cărui secundar este conectat pe

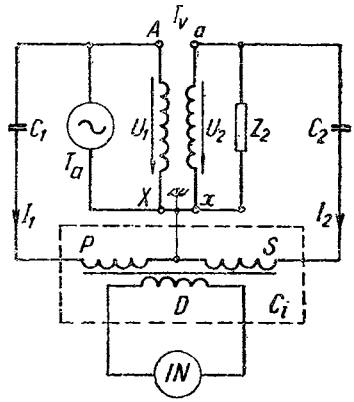


Fig. 3.5. Schema simplificată de verificare a transformatoarelor de tensiune cu ajutorul comparatorului inductiv de curent.

impedanța de sarcină Z_2. Condensatoarele C_1 și C_2 sînt legate în serie cu înfășurările P și S ale comparatorului inductiv de curent C_i. Circuitul format din condensatorul C_1 și înfășurarea P este alimentat de tensiunea U_1 din primarul transformatorului de verificat T_v. Circuitul format de condensatorul C_2 și înfășurarea S este alimentat de tensiunea U_2 a secundarului transformatorului T_v.

La echilibru, fluxul magnetic este nul datorită egalității

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

în care N_1 și N_2 sînt numerele de spire ale înfășurărilor P și S ale comparatorului C_i străbătute de curenții I_1 și I_2. Neglijînd impedanțele înfășurărilor P și S se poate scrie:

$$I_1 = \mathrm{j}\ \omega C_1 U_1$$

$$I_2 = \mathrm{j}\ \omega\ C_2 U_2.$$

La echilibru :

$$N_1C_1U_1 = N_2C_2U_2.$$

Eroarea de tensiune a transformatorului T_v este :

$$\Delta U = \frac{k_nU_2 - U_1}{U_1} = k_n \frac{U_2}{U_1} - 1 ;$$

$$\Delta U = k_n \frac{N_1C_1}{N_2C_2} - 1,$$

unde k_n este raportul de transformare a transformatorului T_v.

Pentru măsurarea erorii de unghi se introduce un curent defazat la 90° printr-o înfășurare suplimentară C a comparatorului conform schemei din fig. 3.6.

Curentul I_c defazat la 90° față de I_1 (se consideră $r \ll 1/\omega C_c$) circulă prin înfășurarea C care are N_c spire, compensînd defazajul dintre I_1 și I_2 datorat erorii de unghi a

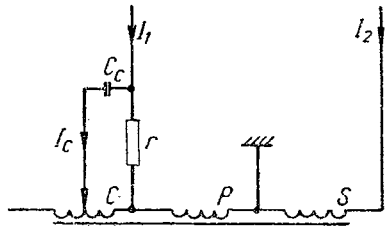


Fig. 3.6. Compensarea erorii de unghi la verificarea transformatoarelor de tensiune cu ajutorul comparatorului inductiv.

transformatorului T_v. Condiția de echilibru a comparatorului inductiv este

$$N_1I_1 + N_cI_c = N_2I_2$$

Presupunînd impedanța înfășurării C neglijabilă, se poate scrie

$$I_c = \mathrm{j}\ \omega\ C_{cr}\ I_1,$$

și la echilibru se obține relația

$$N_1C_1U_1\left(1 + \mathrm{j}\ \omega\ C_cr\ \frac{N_c}{N_1}\right) = C_2N_2U_2$$

sau

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_1 C_1}{N_2 C_2}\left(1 + j\,\omega\, C_c r\,\frac{N_c}{N_1}\right),$$

rezultă eroarea de unghi δ_u a transformatorului de verificat:

$$\delta_u = \omega\, C_c \cdot r\,\frac{N_c}{N_1}.$$

3.2.2. *Metode de verificare a funcționării transformatoarelor de măsură de curent*

Determinarea erorilor de curent și de unghi la transformatoarele de curent se face prin:

— măsurarea directă a curenților;
— cu divizorul inductiv de tensiune;
— cu comparatorul inductiv de curent;
— metoda diferențială;
— metoda absolută.

Aceste metode se întrebuințează în funcție de clasa de precizie a transformatorului, conform tabelului 3.7.

Tabelul 3.7

Clasa de precizie	Metoda de verificare
0,1	Comparatorul inductiv de curent Divizorul inductiv de tensiune Diferențială
0,2; 0,5; 1	Diferențială Absolută
3	Prin măsurarea directă a curenților

Verificarea prin metoda măsurării directe a curenților. Instalațiile pentru verificarea transformatoarelor de curent de clasa de precizie 3, ale căror erori de unghi nu se verifică,

sînt arătate în figura 3.7. Această instalație se compune din sursa de curent T_a, ampermetrele etalon A_{e1} și A_{e2} și transformatorul etalon T_e.

La verificarea transformatoarelor la care curenții nominali primari sînt relativ mici se poate folosi o schemă în

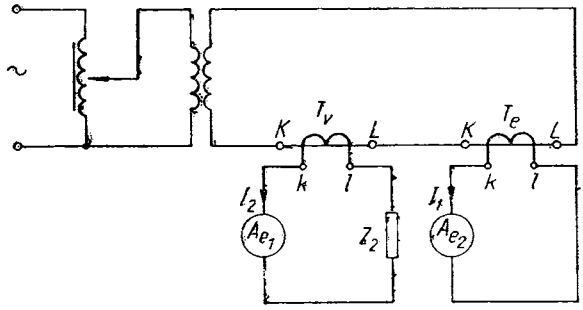


Fig. 3.7. Verificarea transformatoarelor de curent prin metoda măsurării directe a curenților.

care A_{e1} se conectează fără intermediul unui transformator etalon.

Modul de lucru este următorul:

— se verifică corespondența bornelor bobinajelor primare și secundare;

— se demagnetizează miezul fero-magnetic al transformatorului de verificat;

— se stabilește succesiv curentul de alimentare al transformatorului de curent la valorile necesare pentru verificare (tabelul 3.8) și se notează citirile la ampermetrele A_{e1} și A_{e2},

Tabelul 3.8

Clasa de precizie a transformatoarelor de curent	Sarcina	Valorile curenților primari în % din valoarea nominală
0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1	Nominală 25 % din sarcina nominală	10 ; 20 ; 100 100
3	Nominală 25 % din sarcina nominală	50 ; 100 100

atît pentru valori crescătoare cît și descrescătoare ale curentului de alimentare.

Eroarea de curent în cazul conectării directe a ampermetrului A_{e1}, fără intermediul transformatorului etalon se determină cu ajutorul formulei

$$\Delta i = \frac{k_n I_2 - I_2}{I_1} \cdot 100\%,$$

în care: I_1 reprezintă indicația ampermetrului etalon A_{e1}; I_2 — indicația ampermetrului etalon A_{e2}; k_n — raportul de transformare al transformatorului de verificat.

În cazul montajului din figura 3.7 eroarea de curent se determină cu relația

$$\Delta i = \frac{k_n I_2 \left(1 + \frac{\Delta i_e}{100}\right)}{k_{ne} I_1},$$

în care: k_{ne} reprezintă raportul de transformare al transformatorului de curent etalon; Δi_e — eroarea de curent a transformatorului de curent etalon.

Verificarea prin metoda divizorului inductiv de tensiune. Pe principiul divizorului inductiv de tensiune expus la cap. 2

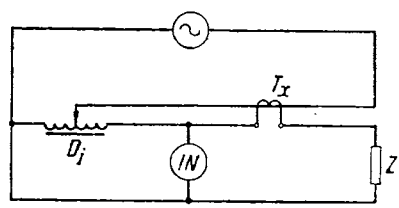


Fig. 3.8. Schema pentru etalonarea transformatoarelor de curent prin metoda divizorului inductiv de tensiune fără determinarea erorii de unghi.

se efectuează și verificări de precizie asupra transformatoarelor de curent.

O schemă de principiu pentru etalonarea acestor transformatoare fără determinarea erorii de unghi este redată în fig. 3.8.

În circuitul transformatorului T_x este introdusă sarcina Z. Curentul secundar al transformatorului T_x este comparat

într-un montaj diferențial cu curentul de la ieșirea divizorului inductiv *DI*. În cazul în care curentul primar depășește curentul maxim admis al divizorului, este necesar a fi introdus un transformator de curent etalon. Pentru determinarea erorii de unghi se utilizează un transformator de curent auxiliar T_A ca în fig. 3.9.

Condensatorul variabil C asigură obținerea unui curent defazat aproximativ la 90° față de curentul din secundarul transformatorului de etalonat T_x; rezistorul r trebuie să aibă o rezistență mică.

Verificarea prin metoda comparatorului inductiv. Verificarea transformatoarelor de curent prin metoda comparatorului inductiv este prezentată în fig. 3.10. Comparatorul inductiv de curent *CI* este format dintr-un miez toroidal cu permeabilitate ridicată pe care se află următoarele înfășurări principale: două înfășurări P și S parcurse de curenții de comparat și a treia D, numită *înfășurare de detecție* sau de măsurare, destinată să indice anularea fluxului magnetic din miez.

Comparatorul poate fi prevăzut și cu alte înfășurări, de exemplu cu o înfășurare suplimentară care să servească la ajustarea fină a echilibrului, curentul de valoare cunoscută din această înfășurare fiind proporțional cu diferența dintre curenții comparați. Pentru măsurări în curent alternativ înfășurarea de detecție este conectată la un indicator de nul *IN* obișnuit. Tensiunea indusă în această înfășurare, în ipoteza unui comparator de curent ideal (fără dispersie magnetică și curenți capacitivi), este

$$U_d = -\mathrm{j}\omega N_d \cdot \Phi = -\mathrm{j}\omega N_d \frac{N_1 I_1 + N_2 I_2}{\mathcal{R}},$$

unde: $\omega = 2\pi f$ este pulsația;

N_d — numărul de spire ale înfășurării de detecție;

Φ fluxul magnetic;

N_1; N_2 — numărul de spire ale înfășurărilor P și S;

I_1; I_2 — curenții de comparat;

$\mathcal{R}$ — reluctanța miezului.

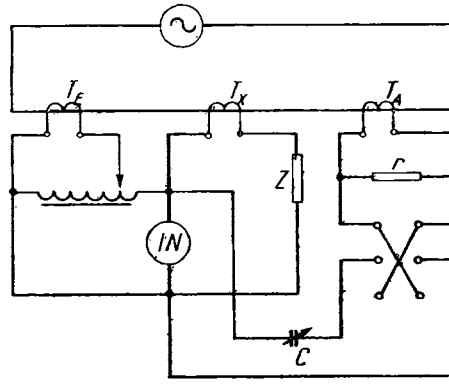


Fig. 3.9. Schema pentru etalonarea completă a transformatoarelor de curent, prin metoda divizorului inductiv de tensiune.

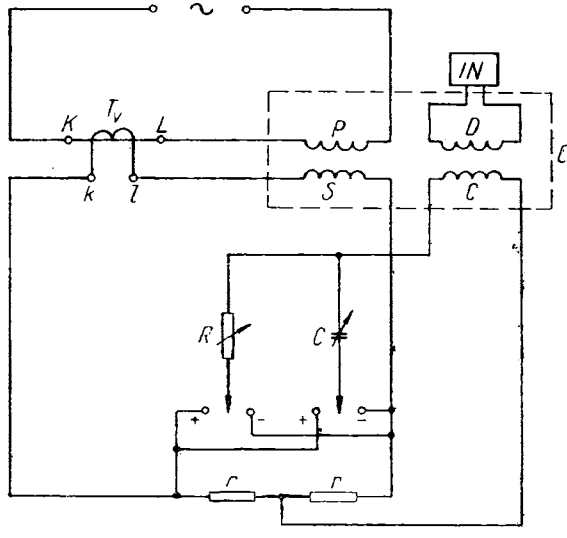


Fig. 3.10. Schema pentru verificarea transformatoarelor de curent prin metoda comparatorului inductiv.

La echilibru $U_d = 0$ și

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}.$$

Pentru determinarea erorilor unui transformator de curent, prin metoda comparatorului inductiv, este necesar ca raportul N_1/N_2 al numerelor de spire din înfășurările principale ale comparatorului să fie egal cu raportul nominal de transformare al transformatorului de verificat. Înfășurările primare ale transformatorului și ale comparatorului se leagă în serie. La fel se leagă în serie și înfășurările secundare care se închid pe o impedanță de sarcină. În acest mod solenația totală aplicată comparatorului este proporțională cu eroarea transformatorului de verificat.

Pentru determinarea erorilor de curent și de unghi este necesar ca solenația datorită erorii să fie compensată cu un curent care să fie egal cu o fracțiune cunoscută din curentul secundar al transformatorului de verificat. Prin înfășurarea C, de compensație a comparatorului inductiv, circulă un curent care are două componente: una în fază cu curentul secundar I_2 și aproximativ egală cu $\frac{r}{R} I_2$, iar cealaltă în cuadratură cu I_2 și aproximativ egală cu $r\omega C I_2$ (aceste aproximații sînt cu atît mai precise cu cît $r \ll R$ și $r \ll \frac{1}{\omega C}$.

Pentru verificarea transformatoarelor de clasa 0,1 și mai precise, rezistența R, din schema comparatorului inductiv, este constituită dintr-o cutie de rezistențe de $10 \times 10\,000\ \Omega$, de clasă cel puțin 0,2, iar capacitatea C dintr-o baterie de condensatoare cu valori cuprinde între 0 și 11 μF și a cărei clasă de precizie este de asemenea cel puțin 0,2.

Cu ajutorul comutatoarelor k_1 și k_2 se pot inversa semnele celor două componente ale curentului de comparație în funcție de semnul erorii transformatorului de verificat.

Eroarea de curent Δ_i și eroarea de unghi δ_i ale transformatorului de verificat sînt egale la echilibru cu relațiile:

$$\Delta_i = \frac{r}{R} \frac{N_c}{N_2};$$

$$\delta_i = r\omega C \frac{N_c}{N_2},$$

în care N_c este numărul de spire al înfășurării de compensație.

Verificarea prin metoda diferențială. Instalația pentru verificarea transformatoarelor de curent prin metoda diferențială se compune din următoarele elemente:

— circuitul de măsurare;
— circuitul diferențial cu galvanometru de vibrații;
— divizoarele rezistive de tensiune;
— voltampermetru;
— releu electromagnetic pentru controlul sensului de conectare al transformatoarelor de măsură.

Circuitul de măsurare se compune din rezistența cu fir calibrat sinfazică F și cea de cuadratură D, transformatorul intermediar de curent T și dispozitivul de defazaj M. Rezistența cu fir calibrat sinfazică servește pentru compensarea erorilor de curent și este conectată la bornele secundare ale transformatorului intermediar de curent T. Rezistența cu fir calibrat de cuadratură D servește la compensarea erorilor de unghi ale transformatorului de verificat și este conectat la bornele secundare ale inductivității mutuale M (fig. 3.11).

Înfășurările primare ale transformatorului intermediar de curent și ale inductivității mutuale M sînt conectate în serie și prin ele trece curentul de lucru I_0 al instalației. Căderea de tensiune de pe rezistența F este în acest fel în fază cu curentul I_0, iar căderea de tensiune de pe rezistența D de cuadratură defazată cu 90° față de curentul I_0.

Verificarea transformatoarelor de curent prin metoda diferențială se realizează pe calea comparării erorilor trans-

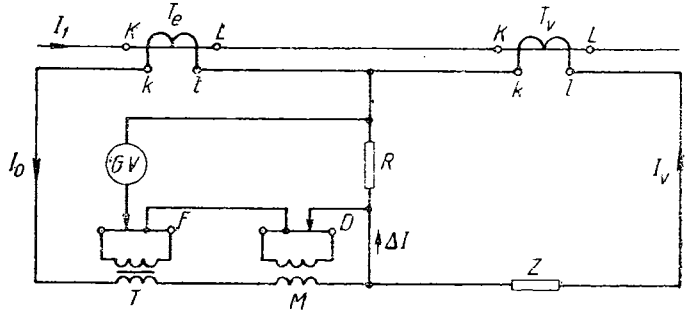


Fig. 3.11. Verificarea transformatoarelor de curent prin metoda diferențială.

formatorului T_v de verificat cu cele ale unui transformator etalon T_e, care are raportul de transformare egal cu cel al transformatorului de verificat. Înfăşurările primare ale celor două transformatoare se conectează în serie.

Curentul care trece prin ramura diferenţială R, reprezintă diferenţa curenţilor care trec prin înfăşurările secundare ale transformatoarelor de verificat şi etalon. Căderea de tensiune de pe rezistenţa R se compensează cu ajutorul căderilor de tensiune de pe rezistenţele F şi D. Rezistenţele, care se stabilesc pe firele calibrate şi de cuadratură, la echilibrarea schemei, sînt proporţionale cu eroarea de curent şi respectiv cu eroarea de unghi a transformatorului de verificat. Valorile erorilor se citesc direct pe scările rezistenţelor cu fir calibrat după echilibrarea schemei. Pentru determinarea echilibrului se utilizează de regulă un galvanometru de vibraţii GV. Valoarea curentului primar la care se execută verificarea se fixează după indicaţiile ampermetrului conectat în circuitul secundar al transformatorului de curent etalon.

Transformatoarele de curent cu mai multe domenii de măsurare pot fi verificate, pentru raportul de transformare unitar (5/5 A), fără utilizarea unui transformator de curent etalon.

Transformatoarele de curent etalon utilizate în metoda diferenţială trebuie să aibă clasa de precizie cel puţin 0,2, la sarcină nominală de cel puţin 0,4 Ω — pentru curentul nominal secundar de 5 A şi de cel puţin 15 Ω — pentru curentul nominal secundar de 1 A.

Pentru verificarea transformatoarelor de curent de clasa de precizie 0,1 şi 0,2 se recomandă să se folosească ca etalon un transformator ale căror erori de curent şi de unghi să nu depăşească $\pm 0{,}1\%$ şi respectiv $\pm 5'$. Se pot folosi şi transformatoare etalon de clasă 0,2, cu condiţia ca erorile să nu depăşească limitele clasei de precizie la toate sarcinile de la zero la sarcina nominală şi $\cos \varphi = 1$, iar diferenţa dintre valorile maxime şi minime ale erorilor la curenţi între $0{,}1\ I_n$ şi $1{,}2\ I_n$ să nu depăşească $0{,}15\%$ şi respectiv $7{,}5'$. Erorile transformatoarelor de curent folosite ca etalon, de clasa 0,2 şi mai precise, trebuie să fie cunoscute cu precizie de $\pm 0{,}02\%$ şi $0{,}5'$.

Erorile transformatorului de curent verificat se calculează cu relațiile :

$$\Delta_i = \Delta_{im} + \Delta_{io} ;$$

$$\delta_i = \delta_{im} + \delta_{io},$$

în care : Δ_i și δ_i sînt valorile transformatorului verificat ;
Δ_{im} și δ_{im} — valorile medii ale indicațiilor obținute la creșterea și scăderea curentului ;
Δ_{io} și δ_{io} — valorile erorilor transformatorului etalon.

La verificarea transformatoarelor de curent prin metoda diferențială, valoarea curentului se măsoară cu ajutorul unui ampermetru de clasa 1 cu rezistență constantă pentru toate domeniile de măsurare. În lipsa unui ampermetru corespunzător, valoarea necesară a curentului se poate stabili cu ajutorul unui ampermetru de clasă 0,5 și a unui transformator de curent a cărui clasă de precizie trebuie să fie cel puțin 0,5.

Verificarea prin metoda absolută. Instalația pentru verificarea transformatoarelor de curent prin metoda absolută se compune din următoarele elemente (fig. 3.12, *a* și *b*) :

T_a — sursă de curent ;
T_e — transformator etalon ;
T_v — transformatorul de verificat ;
A — ampermetru ;
Z_2 — sarcina variabilă (impedanță cu reactanță pozitivă) ;
R_{e1} și R_{e2} — rezistențe etalon ;
D_t — divizor de tensiune în decade ;
R_1 ; R_2 ; R_3 și R_4 — cutii de rezistențe cu ploturi sau rezistențe fixe ;
k — întreruptor ;
GV — galvanometru de vibrații ;
C — condensator variabil ;
M — inductanță mutuală cu aer ;
F — rezistență cu fir calibrat.

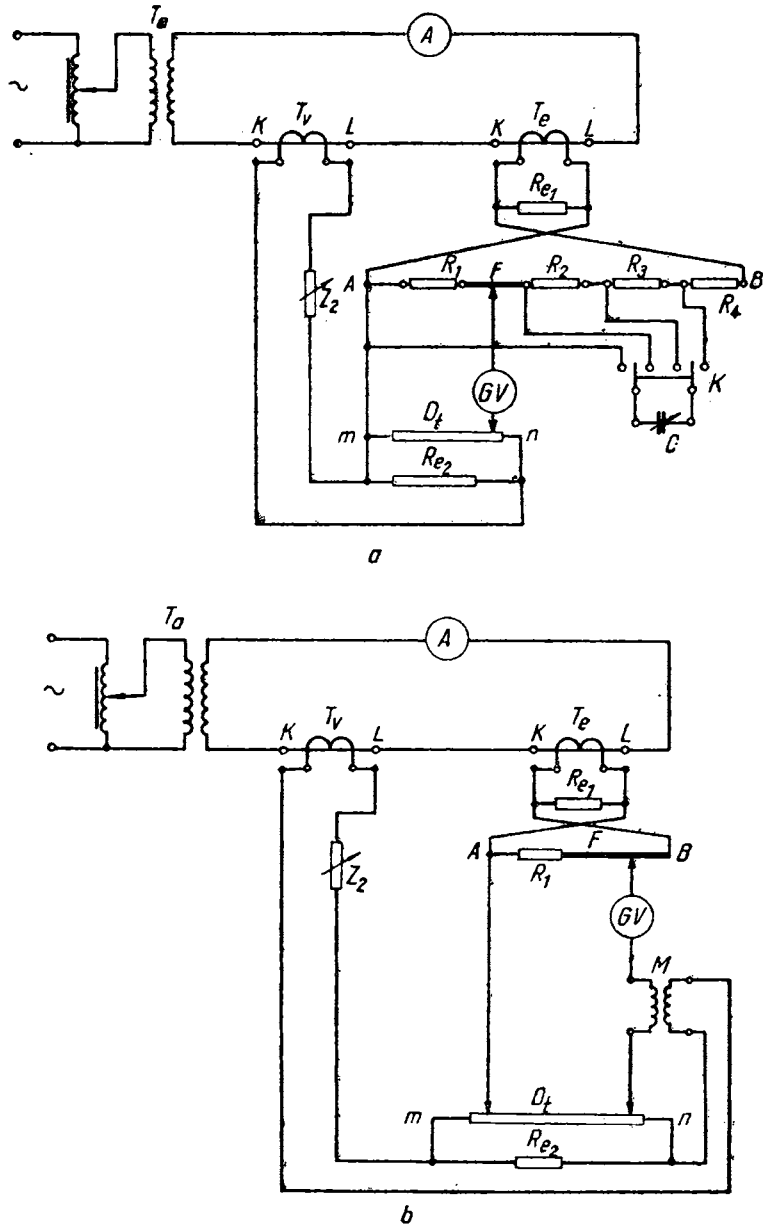


Fig. 3.12. Instalație pentru verificarea transformatoarelor de curent prin metoda absolută :

a — dotată cu condensatorul variabil *C* pentru obținerea unei tensiuni de compensare ; *b* — în care inductanța mutuală variabilă *M* îndeplinește funcțiile condensatorului *C* din fig. a.

Prin această metodă, curenții secundari se compară indirect prin intermediul căderilor de tensiune pe care le produc pe rezistențele etalon ale instalației. Cele două căderi de tensiune sînt redistribuite, una prin dispozitivul de compensare AB, cealaltă pe divizorul de tensiune D_t, în așa fel încît ele fiind în opoziție să debiteze, în circuitul galvanometrului de vibrații GV, curenți de sensuri contrare. Reglînd poziția cursoarelor prin divizorul de tensiune D_t și F, se obține o amplitudine minimă a vibrațiilor galvanometrului GV. La echilibru, căderile de tensiune între punctele AB și mn sînt egale ca mărime și raportul curenților I_1 și I_2 poate fi calculat din valorile rezistențelor ce determină aceste tensiuni.

Compensarea erorii de unghi se realizează introducînd în circuitul galvanometrului o tensiune de compensare, obținută fie cu ajutorul unui condensator variabil C montat în paralel cu o parte din rezistențele AB (fig. 3.12, *a*), fie printr-o inductanță mutuală variabilă M montată cu primarul în serie cu circuitul secundar al transformatorului de verificat (fig. 3.12, *b*).

Eroarea de curent Δ_i se citește direct pe scara rezistenței cu fir calibrat F, iar eroarea de unghi δ_i se citește pe tamburul condensatorului variabil C, respectiv al inductanței mutuale M. Galvanometrul se protejează împotriva curenților de valori prea mari, iar variația treptată a sensibilității sale se realizează cu ajutorul unui dispozitiv de șuntare.

Pentru măsurarea erorilor, înfășurările primare ale transformatorului de verificat și cel etalon se leagă în serie între ele și cu sursa de alimentare. După demagnetizarea miezului transformatorului de verificat, se stabilește valoarea dorită a curentului în înfășurările primare ale transformatoarelor, în timp ce înfășurările secundare sînt conectate pe sarcina indicată. Se trece la compensarea, atît în valoare absolută cît și în fază, a căderilor de tensiune pe divizoarele de tensiune D_t și AB. Erorile de curent și de unghi, fără a ține seama de erorile transformatorului etalon, se citesc direct pe cadranele respective. Calculul erorilor, ținînd cont de

erorile de curent Δ_{io} și de unghi δ_{io} ale transformatorului etalon, se calculează cu relațiile:

$$\Delta_i = \Delta_{im} + \Delta_{io};$$

$$\delta_i = \delta_{im} + \delta_{io};$$

în care Δ_{im} și δ_{im} sînt valorile medii ale indicațiilor obținute pe scările de măsurare, la creșterea și scăderea curentului.

Transformatoarele utilizate ca etalon trebuie să aibă aceeași clasă de precizie ca cel indicat la metoda diferențială. Rezistențele R_1, R_2, R_3, R_4, precum și divizorul de tensiune D_t trebuie să fie în clasa de precizie 0,02, iar ampermetrul pentru măsurarea curentului trebuie să aibă clasa cel puțin 1.

Etalonarea transformatoarelor de curent de precizie ridicată. Transformatoarele de curent de precizie folosite ca etaloane sînt de clasă 0,005, 0,01, 0,02, 0,05 și 0,1. Ca și la subcapitolul anterior menționăm că ele, servind numai în scopuri metrologice nu au fost luate în considerare la clasificare. Ele se construiesc pentru curenții nominali primari cuprinși între 0,1 A și 15 kA, iar curenții nominali secundari sînt de 5 A și 1 A. Puterile nominale ale transformatoarelor etalon sînt: 5 VA, 10 VA, 15 VA, 30 VA și 60 VA.

În tabelul 3.9 sînt indicate erorile admisibile ale transformatoarelor etalon de curent ale căror valori rămîn constante în intervalul de variație a curentului primar de la 10% la 120%.

Tabelul 3.9

Curentul primar în % din curentul nominal	Valorile erorilor admisibile		
	Eroare de curent %	Eroare de unghi	
		′	miliradiani
10...120	±0,005	±0,5	±0,15
10...120	±0,01	±1	±0,30
10...120	±0,02	±1,5	±0,45
10...120	±0,05	±3	±0,90
10...120	±0,1	±5	±1,5

În tabelul 3.10 sînt indicate erorile transformatoarelor etalon de curent, care sînt dependente de valorile curentului nominal primar.

Tabelul 3.10

Clasa de precizie	Curentul primar, % din curentul nominal	Valoarea erorilor admisibile			Limitele puterii secundare % din puterea nominală
		Eroare de curent, %	Eroare de unghi		
			'	miliradiani	
0,01	10	±0,025	± 2,0	±0,60	95...100
	20	±0,020	± 1,5	±0,45	
	50	±0,015	± 1,2	±0,36	
	100...120	±0,010	± 1,0	±0,30	
0,02	10	±0,050	± 3,0	±0,90	50...100
	20	±0,035	± 2,3	±0,68	
	50	±0,030	± 1,8	±0,54	
	100...120	±0,020	± 1,5	±0,54	
0,05	10	±0,100	± 6,0	±1,8	
	20	±0,075	± 5,0	±1,5	
	50	±0,065	± 4,0	±1,2	
	100...120	±0,050	± 3,0	±0,9	
0,1	10	±0,25	±10,0	±0,30	
	20	±0,20	± 8,0	±0,24	
	50	±0,15	± 7,0	±0,21	
	100...120	±0,10	± 5,0	±0,15	
0,2	10	±0,50	±20	±6,0	
	20	±0,35	±15	±4,5	
	50	±0,30	±12	±3,6	
	100...120	±0,20	±10	±3,0	

Pentru determinarea erorilor transformatoarelor etalon de curent se folosesc metode și instalații de verificare a căror eroare este de cel puțin 5 ori mai mică decît eroarea admisibilă a transformatorului de verificat. Se admite utilizarea metodelor și instalațiilor de etalonare a căror eroare este de 2,5 ori mai mică decît eroarea admisibilă a transformatorului de verificat, cu condiția folosirii corecțiilor date pentru mijloacele de etalonare.

Determinarea erorilor transformatoarelor etalon de curent se face în următoarele condiții :

— abaterea frecvenței de la valoarea nominală de cel mult $\pm 2\%$;

— temperatura mediului ambiant cuprinsă între $+15°C$ $\ldots +30°C$;

— presiunea atmosferică corespunzătoare altitudinilor cuprinse între $0 \ldots 1\,000$ m ;

— umiditatea relativă cuprinsă între $30\% \ldots 80\%$;

— factorul de distorsiune al curbei curentului să fie de cel mult 5%.

Înainte de etalonare se verifică polaritatea bornelor și se demagnetizează circuitul magnetic.

Determinarea erorilor transformatoarelor etalon de curent se face prin două categorii de metode :

metode de comparație, în cadrul cărora transformatorul de verificat se compară cu un alt transformator etalon ;

metode absolute, în cadrul cărora erorile transformatorului se determină fără utilizarea unui alt transformator etalon.

În general metodele de comparație nu sînt recomandate pentru etalonări de transformatoare etalon de curent. Ele pot fi totuși folosite în cazul transformatoarelor avînd clasele de precizie 0,1 și 0,05, cu respectarea condițiilor referitoare la erorile maxime admisibile ale ansamblului transformator, etalon și instalația de comparare.

Dintre metodele absolute, cea mai indicată, pentru etalonarea tuturor tipurilor de transformatoare etalon de curent, este metoda comparatorului inductiv de curent.

3.3. Cele mai utilizate aparate și instalații realizate pentru verificarea transformatoarelor de măsură

3.3.1. *Aparat tip AIT pentru verificarea transformatoarelor de măsură*

Aparatul tip AIT fabricat în U.R.S.S. este un aparat diferențial de nul care se utilizează pentru verificarea transformatoarelor de măsură de curent și de tensiune de clasele 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 3,0 și 10 avînd curentul secundar nomi-

nal 5 A sau 1 A și tensiunea secundară nominală de 100 V sau $100/\sqrt{3}$ V, la frecvența de 50 Hz, în încăperi închise cu temperaturi între +10°C și +35°C. Aparatul AIT conține galvanometrul vibrator de tipul M 501.

Aparatul se poate utiliza și în calitate de potențiometru de curent alternativ în coordonate rectangulare, pentru măsurarea tensiunilor mici pînă la 50 mV.

Caracteristicile principale ale aparatului tip AIT se dau în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

Caracteristica	Valoarea
Curentul nominal secundar al transformatoarelor de curent de verificat	5A și 1A
Tensiunea secundară nominală a transformatoarelor de tensiune de verificat	100 V și $100/\sqrt{3}$ V
Limita maximă a măsurării, în % din valoarea nominală a curenților și tensiunilor secundare, cu voltampermetrul montat în aparat	120
Eroarea de bază a voltampermetrului montat în aparat :	
— la curenții de la 0,5 A la 6 A (domeniul 5A)	1,5 %
— la curenții de la 0,1 A la 1,2 A (domeniul 1 A)	1,5 %
— la tensiuni de la 80 V la 120 V (domeniul 100 V)	1,5 %
— la tensiuni de la 10 V la 80 V (domeniul 100 V)	2,5 %
Constanta de tensiune a galvanometrului de vibrații la frecvența de 50 Hz	$C_e \leqslant 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ V/mm
Constanta de curent a galvanometrului de vibrații la frecvența de 50 Hz	$C_i = 10 \cdot 10^{-8}$ A/mm
Gama frecvențelor de rezonanță	30...100 Hz

Principiul de funcționare al aparatului AIT. La baza construcției aparatului stă metoda diferențială de nul a verificării transformatoarelor de măsură prin compararea transformatorului de verificat cu un transformator etalon.

Verificarea transformatoarelor de curent se face conform schemei din figura 3.13.

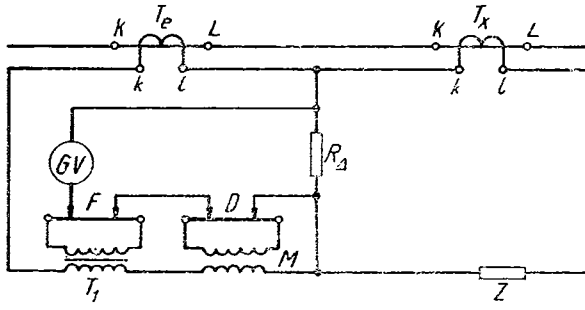


Fig. 3.13. Schema aparatului AIT pentru verificarea transformatoarelor de curent.

Schema se compune din transformatorul de verificat T_x, transformatorul etalon T_E, rezistența R_Δ, impedanța de sarcină Z, rezistența cu fir calibrat F (sinfazic), rezistența cu fir calibrat D (în cuadratură), transformatorul auxiliar T_1, dispozitivul de defazaj M și galvanometrul de vibrații.

Verificarea transformatoarelor de tensiune se face conform schemei din fig. 3.14.

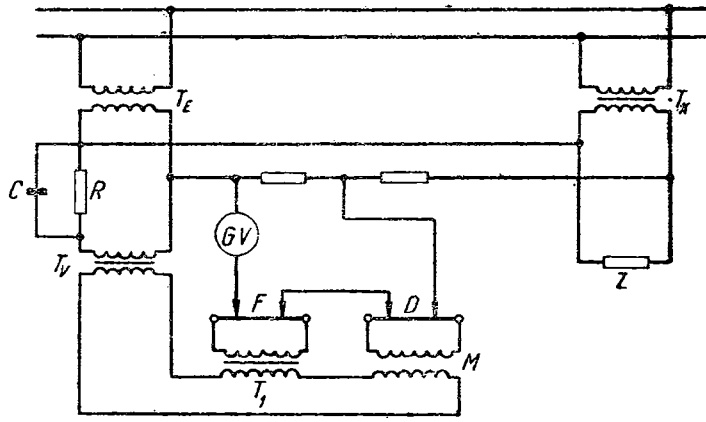


Fig. 3.14. Schema aparatului AIT pentru verificarea transformatoarelor de tensiune.

Se utilizează același circuit de măsură ca și pentru verificarea transformatoarelor de curent. Circuitul de măsură se conectează prin transformatorul auxiliar T_v la bornele secundare ale transformatorului etalon. Datorită rezistenței R conectată în paralel cu capacitatea C în circuitul primar al transformatorului auxiliar T_v, curentul din secundarul acestuia coincide ca fază cu tensiunea secundară a transformatorului etalon.

Schema de principiu a aparatului AIT pentru *măsurarea impedanței de sarcină a transformatoarelor de măsură de curent* este redată în fig. 3.15. Această măsurare este necesară deoarece valorile erorilor transformatorului de curent depind de valoarea și factorul de putere al sarcinii din circuitul secundar.

Notînd prin m raportul tensiunii luat de pe divizorul D_Z și căderii de tensiune pe sarcină și ținînd seama că partea activă a căderii de tensiune se compensează pe rezistența F, iar componenta reactivă pe rezistența D, se obține la echilibrul schemei :

$$I_x A r_f = I_x R m$$

și

$$I_x B r_8 = I_x X m$$

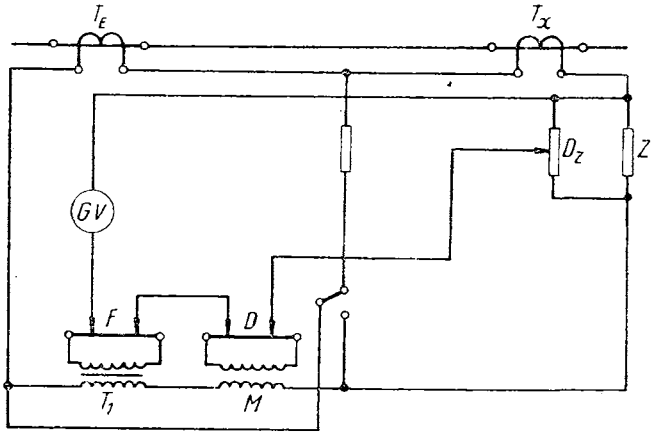


Fig. 3.15. Schema de principiu a aparatului AIT pentru măsurarea impedanței de sarcină la transformatoarele de curent.

unde I_x este curentul prin impedanța de sarcină ;
r_f — rezistența firului calibrat F ;
r_δ — rezistența firului calibrat D ;
A și B — coeficienți ce indică utilizarea unei părți din rezistența cu fir calibrat.

Din relațiile de echilibru se obține :

$$R = \frac{A \cdot r_f}{m} \text{ și } X = \frac{B \cdot r_\delta}{m}.$$

Astfel, pe gradațiile scărilor celor două rezistențe cu fir calibrat se poate determina direct valoarea rezistenței și reactanței sarcinii transformatorului de curent. Impedanța de sarcină și factorul de putere se determină cu formulele :

$$z = \sqrt{R^2 + X^2} ;$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}.$$

Schema de principiu a aparatului AIT pentru *măsurarea impedanței de sarcină a transformatoarelor de măsură de tensiune* este redată în fig. 3.16.

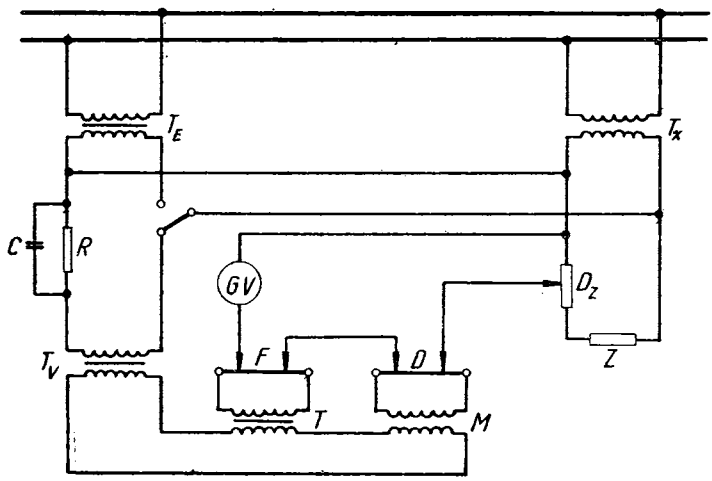


Fig. 3.16. Schema de principiu a aparatului AIT pentru măsurarea impedanței de sarcină la transformatoarele de tensiune.

Pentru alimentarea schemei de măsurare la verificarea transformatoarelor de tensiune, pe panoul aparatului este montat transformatorul auxiliar T_v în primarul căruia se află o schemă artificială din condensatoare și rezistențe care realizează aducerea în fază a tensiunii aplicate înfășurării primare cu curentul al acestui transformator.

Divizorul de tensiune în schema de verificare a transformatoarelor de tensiune are patru trepte prin comutarea cărora se modifică domeniul de măsură al erorilor.

Pentru măsurarea sarcinii transformatoarelor de curent, în aparat este prevăzut un divizor neinductiv.

Modificarea domeniului de măsură a sarcinii se obține prin schimbarea rezistenței divizorului.

Măsurarea impendanței la încercarea transformatoarelor de tensiune se realizează cu ajutorul unei rezistențe speciale, conectată în serie cu impedanța de sarcină. Prin schimbarea valorii acestei rezistențe se modifică domeniul de măsură al impedanței.

Pentru determinarea valorii curenților și tensiunilor la care are loc verificarea transformatoarelor, în aparat este montat un voltampermetru cu redresor cu scara gradată în procente din valoarea nominală a curenților și tensiunilor. Pentru modificarea domeniului de măsură al instrumentului în aparat există un comutator special.

Pentru determinarea corectitudinii conectării transformatorului etalon și corectitudinii marcării bornelor transformatorului de verificat, în aparat există o clapetă cu două bobine, una din bobine este conectată în serie cu rezistența diferențială pentru verificarea transformatoarelor de curent, iar cea de a doua în paralel cu divizorul de tensiune al schemei de verificare a transformatoarelor de tensiune.

Pentru verificarea echilibrului schemei se întrebuințează un galvanometru vibrator tip M501. Aparatul AIT este prevăzut cu un lăcaș special pentru introducerea galvanometrului.

Pentru racordarea transformatoarelor, a sarcinilor și a celorlalte conexiuni, aparatul are bornele necesare cu notațiile corespunzătoare. De asemenea, aparatul este prevăzut cu o bornă pentru legarea la pământ, precum și bornele necesare pentru alimentarea sistemului optic al galvanometrului.

Galvanometrul cu vibrații magnetoelectrice cu magnet mobil, transportabil de tipul M501 se utilizează ca instrument de nul în scheme de compensare și în punți de curent alternativ cu frecvențe de la 30 la 100 Hz.

3.3.2. *Aparat AEG pentru verificarea transformatoarelor de măsură*

Aparatul AEG este asemănător aparatului tip AIT, servind la verificarea transformatoarelor de măsură de curent și de tensiune, avînd curentul secundar de 1 A, 5 A și 10 A și tensiunea secundară de 100 V ; 110 V ; $100/\sqrt{3}$ V; $110/\sqrt{3}$ V; $200/\sqrt{3}$ V și $400/\sqrt{3}$ V. Aparatul permite măsurarea impedanțelor de sarcină din circuitul secundar al transformatoarelor verificate. De asemenea, aparatul AEG se poate utiliza drept compensator în măsurarea tensiunilor și curenților.

Schemele de principiu de măsurare ale aparatului AEG propriu-zis sînt identice cu cele ale aparatului sovietic tip AIT. Schemele de măsurare cu utilizarea anexelor sînt indicate în figurile 3.17 și 3.18.

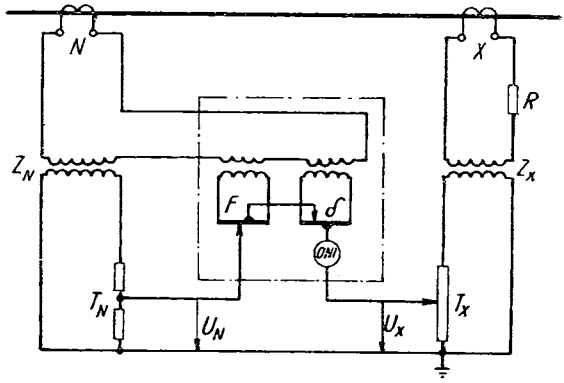


Fig. 3.17. Verificarea transformatorului de curent cu ajutorul unui instrument suplimentar.

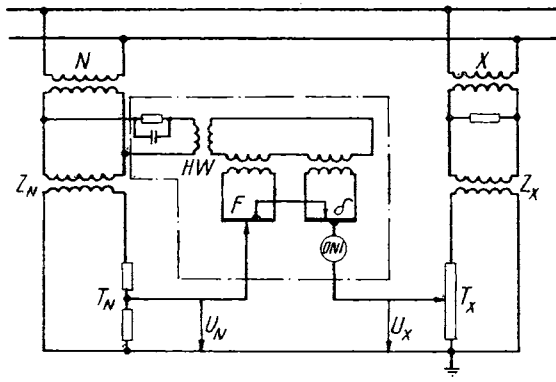


Fig. 3.18. Verificarea transformatorului de tensiune cu ajutorul unui instrument suplimentar.

3.3.3. *Aparatul pentru etalonarea transformatoarelor de tensiune tip AETT-1*

Aparatul tip AETT a fost realizat și brevetat de Institutul Național de Metrologie București [31]. Aparatul se bazează pe metoda comparatorului inductiv a cărui schemă simplificată este redată în fig. 3.19.

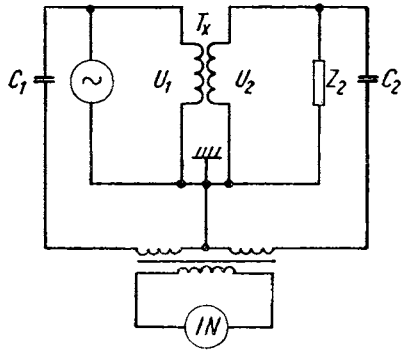


Fig. 3.19. Schema simplificată de etalonare a transformatoarelor de tensiune după metoda comparatorului inductiv.

Conform acestei metode se măsoară raportul curenților care circulă prin două condensatoare C_1 și C_2, conectate în primarul și secundarul transformatorului de etalonat. Sursa de tensiune alternativă alimentează primarul transformatorului de etalonat T_x. În secundarul acestuia se conectează impedanța de sarcină Z_2. Pe condensatoarele C_1 și C_2, cu pierderi neglijabile, în serie cu cîte o înfășurare a comparatorului inductiv de curent CI sînt aplicate tensiunile U_1 și U_2 din primarul, respectiv secundarul transformatorului de etalonat T_x. Indicatorul de nul IN este legat la bornele înfășurării de detecție a comparatorului inductiv CI.

Măsurarea erorilor de tensiune și de unghi cu aparatul AETT-1 se face utilizîndu-se înfășurări de compensație separate conform schemei generale redate în fig. 3.20.

Se utilizează un rezistor r, de rezistență relativ mică, în serie cu condensatorul C_1, astfel încît curentul I_1 să producă o cădere de tensiune $\Delta U = rI_1$ în fază cu I_1. În circuitul rezistorului R ia naștere un curent I_Δ în fază cu I_1, de valoare proporțională cu $1/R$ (se alege $R \gg r$), al cărui efect asupra comparatorului este proporțional cu $N_\Delta I_\Delta$, obținîndu-se

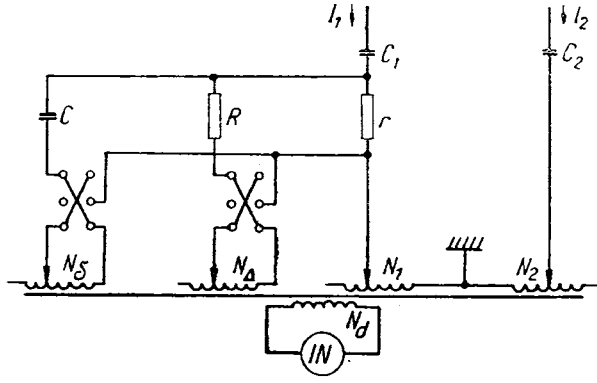


Fig. 3.20. Schema generală de compensare a erorilor de raport și de unghi.

astfel posibilitatea compensării erorii de tensiune a transformatorului de etalonat T_x. În circuitul condensatorului C ia naștere un curent I_δ decalat la 90° față de I_1 și proporțional

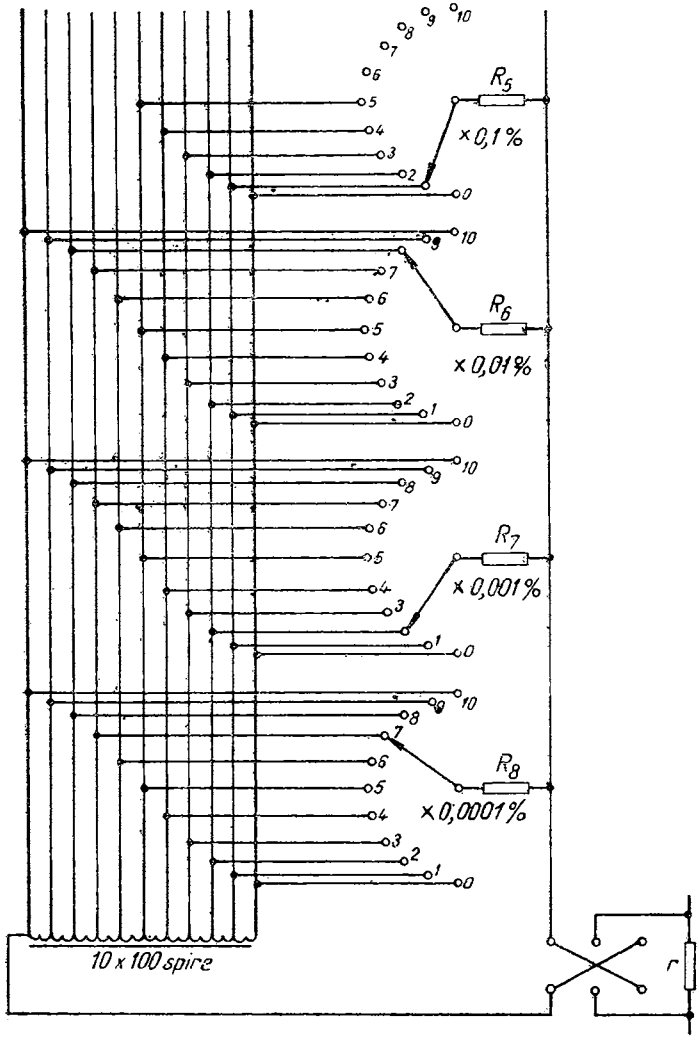


Fig. 3.21. Circuitul de măsurare al erorii de tensiune al aparatului AETT-1.

cu C (se alege $1/\omega C \gg r$) al cărui efect asupra comparatorului este proporțional cu $N_8 I_8$, permițînd astfel compensarea erorii de unghi a transformatorului de etalonat T_x. Se poate demonstra că, pentru ca eroarea de metodă să nu depășească 1%, este necesar ca valoarea rezistenței r să fie modificată corespunzător, prin comutare, odată cu comutarea numărului N_1 de spire al înfășurării primare de raport.

Circuitul de măsurare al erorii de tensiune este redat detailat în fig. 3.21. Echilibrarea se face în 4 decade realizate prin divizarea înfășurării de compensație în 10 secțiuni și introducerea a 4 rezistoare R_5, R_6, R_7 și R_8, cîte una pentru fiecare decadă. Cele 4 decade asigură următoarele valori:

— decada I : $0 \ldots 5 \times 0{,}1\%$;
— decada II : $0 \ldots 10 \times 0{,}01\%$;
— decada III : $0 \ldots 10 \times 0{,}001\%$;
— decada IV : $0 \ldots 10 \times 0{,}0001\%$.

Valoarea maximă măsurabilă este de $\pm 0{,}611\%$ cu rezoluție de 0,0001%.

Valorile rezistențelor R_5, R_6, R_7 și R_8 sînt astfel calculate, încît pe fiecare decadă, la poziția comutatorului corespunzătoare numărului maxim de spire $N_\Delta = 1\,000$, să rezulte valoarea corectă a erorii de tensiune măsurate.

Circuitul de măsurare a erorii de unghi este reprezentat în fig. 3.22. Echilibrarea se face tot în 4 decade cu ajutorul condensatoarelor C_3, C_4, C_5 și C_6. Cele 4 decade permit măsurarea erorii de unghi în următoarele limite:

— decada I : $0 \ldots 2 \times 10'$;
— decada II : $0 \ldots 10 \times 1'$;
— decada III : $0 \ldots 10 \times 0{,}1'$;
— decada IV : $0 \ldots 10 \times 0{,}01'$

Valoarea maximă măsurabilă este de $\pm 31{,}1'$ cu rezoluție de $0{,}01'$.

Valorile capacităților C_3, C_4, C_5 și C_6 se calculează astfel încît pe fiecare decadă, la poziția comutatorului corespunzătoare numărului maxim de spire $N_8 = 1\,540$, să rezulte valoarea corectă a erorii de unghi măsurate.

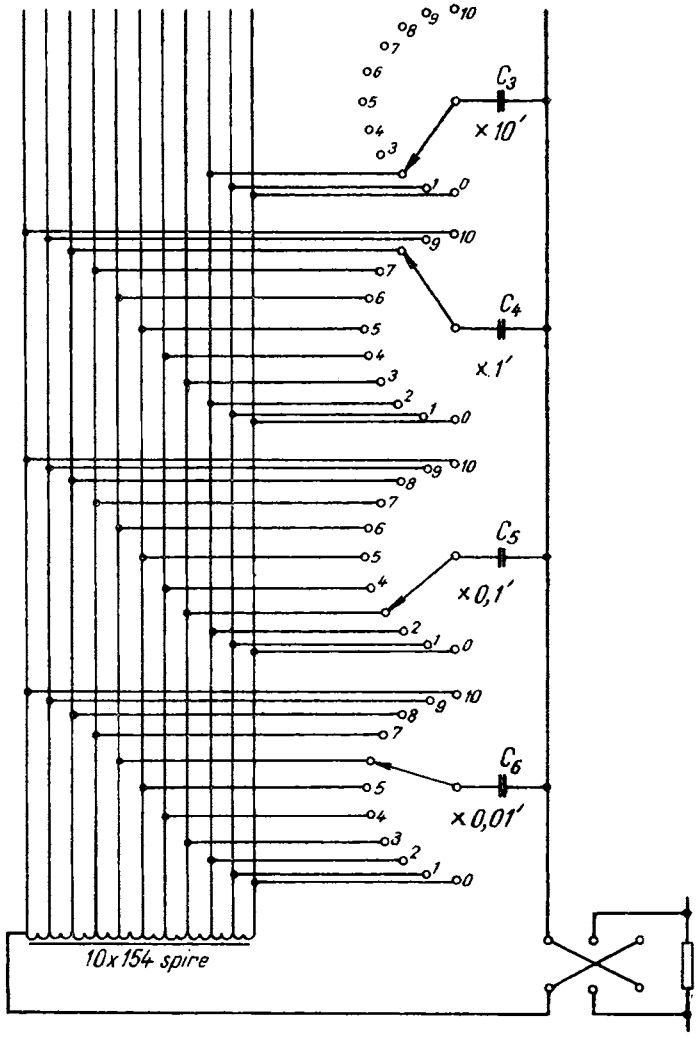


Fig. 3.22. Circuitul de măsurare al erorii de unghi al aparatului AETT-1.

3.3.4. *Aparatul pentru etalonarea transformatoarelor de curent tip AETC-1*

Aparatul tip AETC-1 a fost realizat de Institutul Național de Metrologie din București [27, 28, 29] și este destinat etalonării transformatoarelor de curent. Aparatul se bazează pe principiul comparatorului inductiv de curent, schema lui simplificată fiind redată în fig. 3.23.

Înfășurarea primară N_1 a comparatorului CI este legată în serie cu înfășurarea primară W_1 a transformatorului de curent T_c, ele fiind parcurse de același curent debitat de o sursă exterioară SE. Înfășurarea secundară N_2 a comparatorului inductiv de curent se leagă în serie cu înfășurarea secundară W_2 a transformatorului de curent. Înfășurarea W_2 debitează pe înfășurarea N_2, astfel încît tensiunile magnetomotoare N_1I_1 și N_2I_2 sînt în opoziție. Raportul de transformare al comparatorului inductiv se aranjează astfel încît să fie egal cu raportul de transformare nominal al transformatorului de curent

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{W_1}{W_2}.$$

În cazul transformatorului de curent ideal, cu erori nule, fluxul magnetic în miezul comparatorului inductiv ar fi nul și indicatorul de nul IN ar indica echilibru.

În cazul transformatorului de curent real, cu erori finite, pentru ca indicatorul de nul IN să indice echilibru, este necesar ca să se introducă o solenație care să anuleze diferența provocată de eroarea transformatorului T_c. Cu ajutorul circuitului format de rezistențele r, R și condensatorul C, se injectează un curent în fază cu I_2 prin înfășurarea N_{c1} și altul în cuadratură cu I_2 prin înfășurarea N_{c2}. Acești doi curenți se reglează pînă la echilibrarea comparatorului, cînd se obține

$$N_1I_1 + N_2I_2 \pm \frac{r}{R} N_{c1}I_2 \pm \mathrm{j}\frac{r}{\frac{1}{\omega C}} N_{c2}I_2 = 0,$$

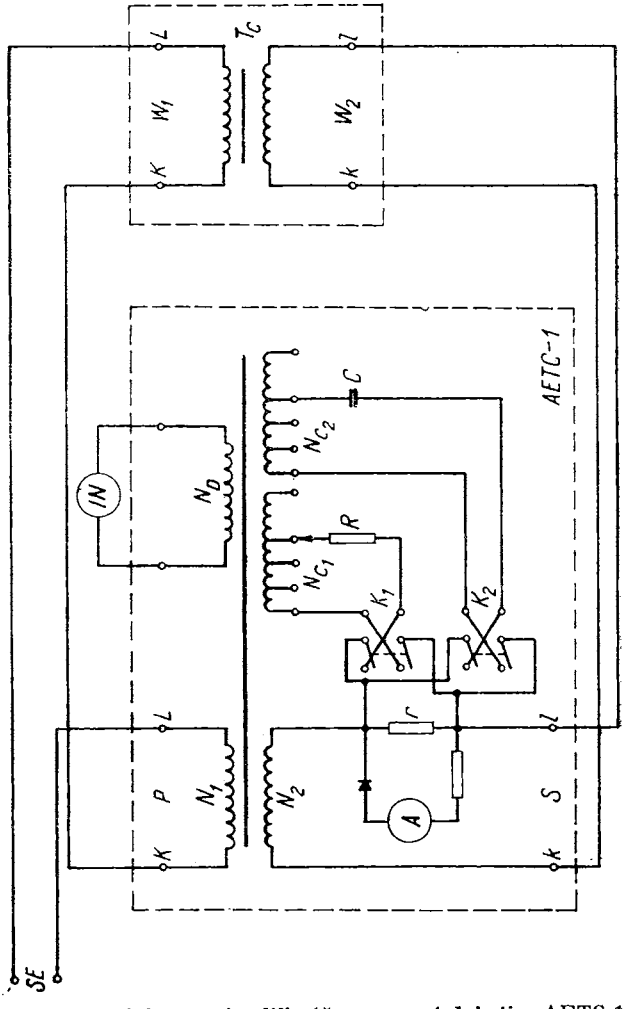


Fig. 3.23. Schema simplificată a aparatului tip AETC-1 pentru etalonarea transformatoarelor de curent.

cu îndeplinirea condițiilor :

$$r \ll R ;$$

$$r \ll \frac{1}{\omega C}.$$

În felul acesta, expresiile erorilor de raport și de fază au următoarele forme :

$$\varepsilon = \frac{N_{c1}}{N_2} \cdot \frac{r}{R} ;$$

$$\delta = \frac{N_{c2}}{N_2} \cdot r\omega C.$$

Aparatul pentru etalonarea transformatoarelor de curent AETC-1 este format dintr-un miez toroidal pe care sînt bobinate înfășurările.

Înfășurarea primară N_1 are prize pentru 5 A ; 7,5 A ; 10 A ; 15 A ; 20 A ; 25 A ; 30 A ; 40 A ; 50 A ; 60 A ; 75 A ; 100 A ; 200 A ; 300 A ; 600 A. Pe plăcuța de pe aparat sînt indicate schemele de montare a unor barete pentru diversele valori ale curentului.

Înfășurarea secundară N_2 este dimensionată pentru valoarea de 5 A. Pe miezul magnetic mai sînt bobinate: înfășurarea N_{c1} pentru compensarea erorii de raport; înfășurarea N_{c2} pentru compensarea erorii de fază și înfășurarea N_D de detecție. Pentru a putea regla în decade curenții de compensare, înfășurările N_{c1} și N_{c2} sînt formate din cîte 10 secțiuni identice, comutabile cu ajutorul a trei comutatoare. Pentru fiecare decadă este prevăzut cîte un rezistor, respectiv condensator, a căror introducere în circuitul de compensare cu ajutorul comutatoarelor variază în trepte curenții injectați în înfășurările N_{c1} și N_{c2}.

Alegerea convenabilă a valorilor rezistorilor r și R și a condensatoarelor C permite citirea directă a erorii de raport și de unghi, în procente, respectiv în minute.

În fig. 3.24 este prezentată schema electrică a aparatului AETC-1. Comutatoarele k_1 și k_2 servesc la schimbarea semnului erorii. Aparatul indicator arată, în procente din curentul nominal, valoarea curentului la care se face etalonarea transformatorului T_c.

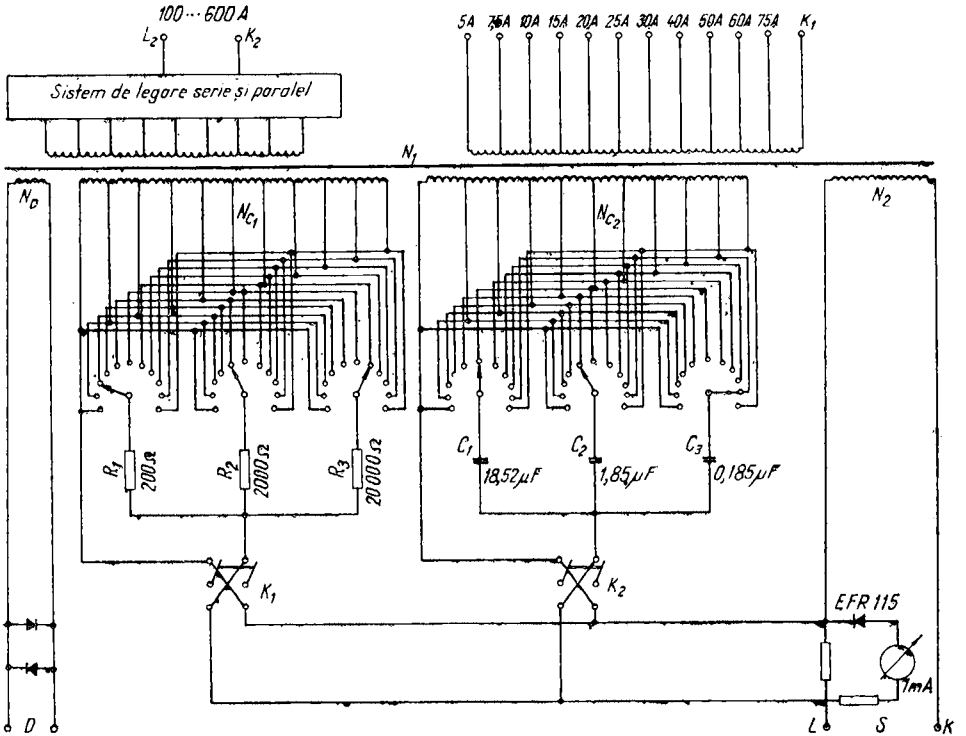


Fig. 3.24. Schema electrică a aparatului AETC-1.

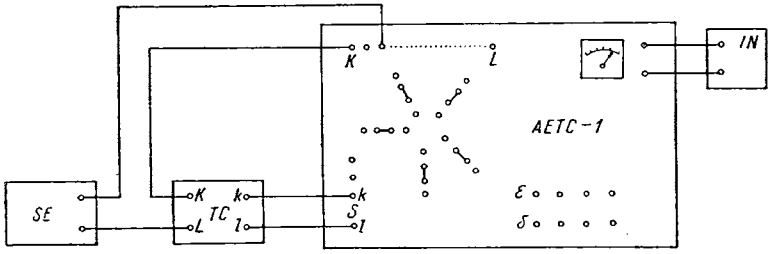


Fig. 3.25. Montajul pentru etalonarea transformatoarelor de curent cu ajutorul aparatului AETC-1.

Rezistența circuitului secundar, măsurată la bornele S ale aparatului AETC-1, este de 0,2 Ω și reprezintă sarcina la care sînt etalonate transformatoarele de curent.

În cazul în care este necesară etalonarea unui transformator la altă sarcină, se poate adăuga o sarcină suplimentară în serie cu bornele S.

Cu ajutorul aparatului AETC-1 se verifică transformatoarele de curent etalon, la frecvența de 50 Hz, cu erori de raport și unghi care nu depășesc 0,111% și 11,1′. Curentul nominal secundar are valoarea $I_{2n} = 5$ A. Valorile curenților nominali primari sînt indicați mai sus fiind cuprinși între limitele 5 A...600 A.

În fig. 3.25 este indicat montajul care trebuie realizat pentru etalonarea transformatoarelor de curent cu ajutorul aparatului AETC-1.

Pentru etalonarea transformatorului de curent T_c sînt necesare, pe lîngă aparatul AETC-1, o sursă de curent reglabilă SE și un indicator de nul IN. Se recomandă a se utiliza un galvanometru cu vibrații sau un indicator de nul electronic fabricat de Institutul Național de Metrologie.

3.3.5. *Metode de verificare a erorii de raport la transformatoarele de măsură, prin compararea armonicilor*

Metodele cunoscute pînă în prezent de verificare a transformatoarelor de măsură, implică un aparataj complex (galvanometru cu vibrații, transformator etalon, punte de comparație în curent alternativ etc.) care de obicei este scump

și greu de obținut și a cărui manipulare este dificilă, în cazul în care se lucrează cu piese separate în montaj. De multe ori, în cazul transformatoarelor care lucrează numai în scheme pentru măsurarea curentului sau tensiunii și nu lucrează în scheme de măsurare a puterii, este nevoie să se determine rapid numai eroarea de raport. În acest caz, metodele clasice nu sînt cele mai indicate, impunîndu-se necesitatea utilizării unei metode rapide, ieftine și totodată satisfăcîndu-se precizia cerută.

O astfel de metodă care să satisfacă cerințele de mai sus se bazează pe următorul raționament:

Raportul de transformare al unui transformator de tensiune se definește ca raportul valorilor efective ale tensiunilor primare și secundare

$$k_T = \frac{U_2}{U_1}$$

și constituie una din datele caracteristice ale transformatorului respectiv. La regimuri diferite de regimul nominal, raportul de transformare poate diferi sensibil de raportul de transformare nominal, diferența dintre ele determinînd eroarea de raport a transformatorului

$$\Delta k = k_T - k_{TN}$$

Eroarea de raport este

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta k}{k_{TN}} = \frac{k_T - k_{TN}}{k_{TN}} = \frac{k_T}{k_{TN}} - 1.$$

Pentru determinarea acestei erori la o tensiune primară dată U_1, expresia erorii relative este

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta k}{k_{TN}} = \frac{\dfrac{U_2}{U_1}}{\dfrac{U_{2N}}{U_{1N}}} - 1 = \frac{U_2}{U_1 \cdot \dfrac{U_{2N}}{U_{1N}}} - 1 = \frac{U_2 - \left(\dfrac{U_1}{U_{1N}}\right) U_{2N}}{\left(\dfrac{U_1}{U_{1N}}\right) \cdot U_{2N}} =$$

$$= \frac{U_2 - U'_{2N}}{U'_{2N}},$$

în care s-a notat cu $U'_{2N} = \left(\dfrac{U_1}{U_{1N}}\right) U_{2N}$.

Pentru determinarea erorii de raport la o tensiune U_1 dată, trebuie să fie cunoscut U_2, deoarece U'_{2N} se deduce din relația

$$U'_{2N} = \lambda U_{2N},$$

unde

$$\lambda = \frac{U_1}{U_{1N}}.$$

În acest mod se poate ridica familia de curbe

$$\varepsilon_r = f(\lambda)$$

pentru diferiți curenți secundari I_2 și pentru diferiți cos φ_2.

Pentru aflarea lui U_2, experimental se poate folosi o metodă de opoziție în care se compară tensiunea secundară U_2 cu o tensiune de referință U_{2r} de formă sinusoidală. Deoarece practic U_2 nu este perfect sinusoidală, din cauza regimului deformant din transformator, opoziția celor două tensiuni nu poate fi perfectă. Tensiunea U_2 se compune în realitate din armonici cu amplitudini U_{21}, U_{23}, U_{25} etc., din care numai primele au importanță.

Opoziția se realizează numai între tensiunea de referință U_{21} sinusoidală și armonica U_{21} a tensiunii secundare U_2.

Pentru determinarea cu precizie a tensiunii U_2, se măsoară și armonicele U_{23} și U_{25} care se presupune că pot avea influență.

Aplicarea în practică a principiului de mai sus se realizează folosind schema (fig. 3.26), proiectată și realizată la serv. Metrologie al Uzinei Electromagnetica.

Tensiunea de referință U_{2r} se ia din primarul transformatorului prin intermediul unui divizor de tensiune DT, montîndu-se întotdeauna transformatorul cu tensiunea joasă în secundar.

Deoarece între tensiunea primară a unui transformator și cea secundară există totdeauna un decalaj de fază, alimentarea primarului se face din rotorul unui regulator de fază.

Cele două tensiuni U_2 și U_{2r} sînt comparate printr-o rezistență R_2, care constituie impedanța caracteristică de intrare a unui filtru trece jos. La ieșirea filtrului pe o rezis-

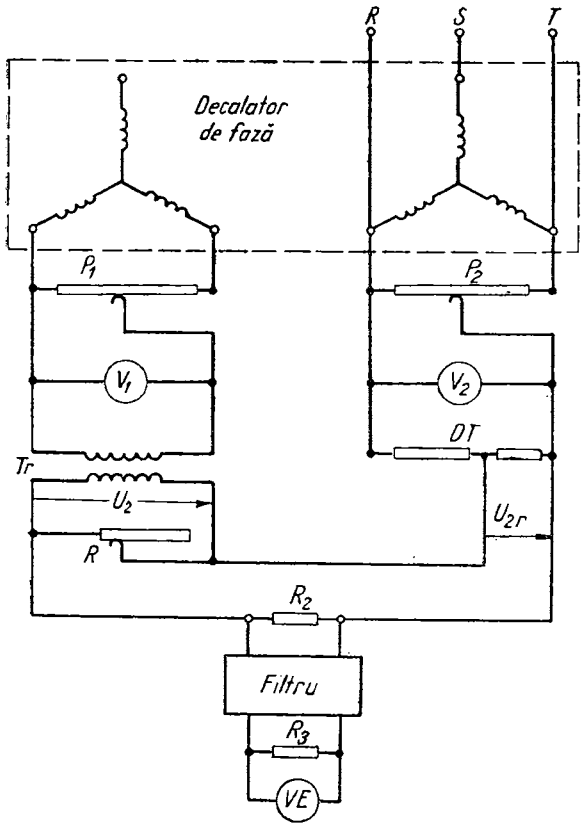


Fig. 3.26. Verificarea erorii de raport la transformatoarele de tensiune prin compararea armonicilor.

tență de ieșire R_3, tot de aceeași valoare cu R_2, se conectează un voltmetru electronic cu o sensibilitate de 10 mV cu intrare simetrică. Pentru încărcarea secundarului transformatorului la diferite sarcini se folosește rezistența variabilă R.

Modul de lucru este următorul:

Decalatorul de fază se alimentează cu tensiune trifazată, iar tensiunea primară a transformatorului se reglează

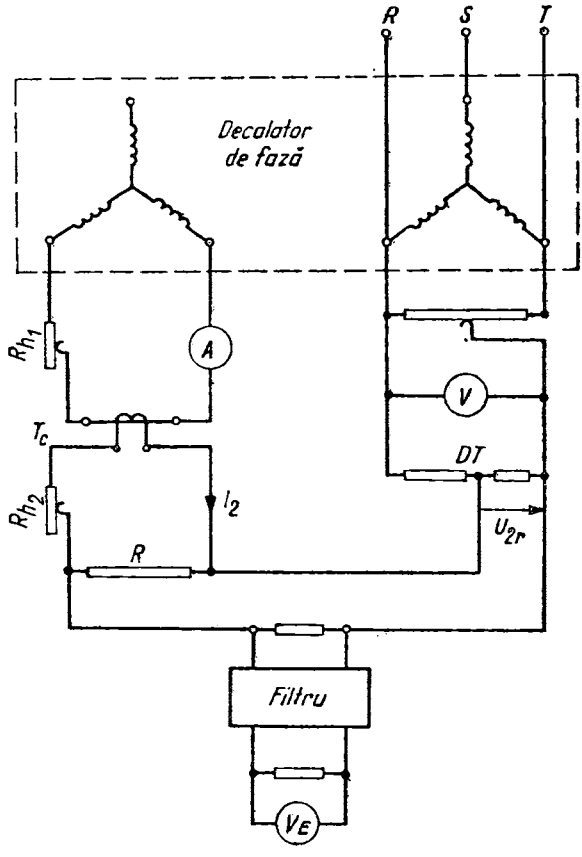


Fig. 3.27. Verificarea erorii de raport la transformatoarele de curent, prin compararea armonicilor.

cu ajutorul potențiometrului P_1 la valoarea dorită U_1 măsurată cu voltmetrul V_1. Prin intermediul potențiometrului P_2 se reglează tensiunea de referință U_{2r}, măsurată cu voltmetrul V_2. Filtrul F se reglează astfel încît să taie frecvențele superioare valorii de 60 Hz. Decalatorul de fază se rotește pînă se obține o indicație minimă a voltmetrului electronic. Tensiunea reziduală indicată de volt-

metrul electronic se datorește imperfecțiunilor filtrului și tensiunilor parazite. În acest moment se reglează fin tensiunea de referință din potențiometrul P_2 pînă se obține minimul absolut la voltmetrul electronic. După terminarea reglajelor se citește la voltmetrul V_2 amplitudinea armonicii fundamentale $U_{21} = U_{2r}$.

După aceste operații se reglează filtrul pe frecvența de 300 Hz și se citește la voltmetrul electronic tensiunea

$$U_a = \sqrt{U_{23}^2 + U_{25}^2}.$$

Se calculează tensiunea

$$U_2 = \sqrt{U_{21}^2 + U_{23}^2 + U_{25}^2} = \sqrt{U_{2r}^2 + U_a^2}$$

și se deduce eroarea de raport

$$\varepsilon_r = \frac{U_2 - U'_{2r}}{U'_{2r}}.$$

O metodă analoagă se poate concepe pentru verificarea transformatoarelor de curent bazată pe același principiu.

Schema care se poate folosi este indicată în fig. 3.27.

În acest montaj curentul secundar I_2 trece prin rezistența R și produce o cădere de tensiune $U_2 = RI_2$ care se compară cu tensiunea de referință U_{2r}. Montajul este identic în funcționare cu schema pentru transformatorul de tensiune.

Metoda descrisă, de verificare a erorii de raport a transformatoarelor de măsură se poate utiliza în orice laborator, atît în cele cu specific metrologic, cît și în cele care deservesc întreprinderile de montaj și exploatare energetice. Realizarea montajului necesită numai aparate care se găsesc în orice laborator.

4. Verificarea contoarelor electrice de inducție

4.1. Clasificarea și caracteristicile principale ale contoarelor

4.1.1. *Criteriile de clasificare*

Contoarele electrice se pot clasifica după următoarele criterii principale:

După clasa de precizie — contoarele se construiesc pentru clasele 1 și 2.

Din fabricațiile din străinătate se cunosc și contoare de clasă 0,3; 0,5 și 2,5.

După domeniul de măsurare — contoarele se clasifică în:

— contoare cu un singur interval de măsurare, cunoscute și sub numele de contoare cu sarcină nominală;

— contoare cu suprasarcină.

După modul de utilizare se cunosc:

— contoare etalon;

— contoare de uz casnic;

— contoare de uz industrial.

După energia măsurată se împart în:

— contoare pentru energie activă;

— contoare pentru energie reactivă.

După locul de utilizare contoarele pot fi:

— monofazate;

— trifazate cu două sisteme (pentru rețea trifazată cu 3 fire);

— trifazate cu trei sisteme (pentru rețea trifazată cu 4 fire).

După modul de protecție împotriva acțiunii mediului înconjurător contoarele se fabrică în execuție:

— obișnuită;

— cu acoperiri pentru climă tropicală, umedă etc.

După felul tarifului — contoarele sînt:

— cu un tarif;

— cu tarife multiple;

— cu indicator maxim.

Avînd în vedere că în prezent pentru măsurarea energiei electrice în curent alternativ nu se mai utilizează în lume decît contoare bazate pe principiul de inducție, acest capitol se referă numai la contoare de inducție.

4.1.2. *Principalele date constructive ale contoarelor electrice de inducție*

Contoarele sînt constituite din următoarele părți principale:

Înfășurarea de tensiune care, alimentată la tensiunea de rețea, produce un flux numit fluxul de tensiune.

Înfășurarea de curent, care alimentată la curentul de consum, produce un flux numit fluxul de curent, decalat înainte cu 90° față de fluxul de tensiune.

Discul (cu axul său), care avînd rolul unui conductor în scurtcircuit de la motorul asincron, se învîrtește sub acțiunea unui cuplu rezultat din interacțiunea fluxurilor de curent și tensiune cu curenții induși (în disc) de aceste două fluxuri.

Lagărele inferior și superior care permit rotația axului discului cu frecări minime.

Magnetul de frînare care crează cuplul de frînare constant.

Dispozitive de reglare prevăzute pentru corectarea funcționării la diferite sarcini. Sînt prevăzute dispozitive pentru reglarea funcționării la sarcini mici, la sarcini mari și la factor de putere inductiv. Sensibilitatea și mersul în gol al contorului se reglează tot prin dispozitive de reglare. Pen-

tru reglarea funcționării în regim nominal și sarcini mari se folosește mișcarea magnetului de frînare.

Mecanismul integrator care însumează rotațiile discului indicînd energia electrică corespunzătoare raportului de transformare ales.

Carcasa contorului (capac și fund), care are rolul de a proteja elementele componente împotriva prafului, umidității, acțiunilor mecanice etc.; este construită de obicei din tablă, bachelită sau sticlă.

4.1.3. *Caracteristicile contoarelor electrice*

Definițiile cuprinse la § 2.1.3, privind sensibilitatea, justețea, fiabilitatea, mobilitatea, fidelitatea și precizia sînt valabile și pentru contoare, deși unele cum sînt: sensibilitatea, fiabilitatea, precizia se determină în mod diferit.

În ceea ce privește erorile ce caracterizează contoarele, acestea pot fi calculate în următoarele moduri:

$$\varepsilon\% = \frac{W - W_0}{W_0} 100, \tag{4.1}$$

unde: W_0 este valoarea reală a energiei;
W — valoarea energiei determinată de indicațiile contorului de verificat.

$$\varepsilon\% = \frac{t_c - t}{t} 100 \tag{4.2}$$

unde: t_c este timpul nominal (calculat) pentru contorul dat; el reprezintă timpul în care discul ar trebui să execute în mod corect N rotații la sarcina dată;
t — indicația cronometrului.

$$\varepsilon\% = \frac{n_2 k_1 - n_1 k_2}{n_1 k_2} \cdot 100, \tag{4.3}$$

unde: n_1 este numărul de rotații ale contorului etalon;
n_2 — numărul de rotații ale contorului de verificat;
k_1 — constanta de transmisie a contorului etalon în rot/kWh;
k_2 — constanta de transmisie a contorului de verificat în rot/kWh.

Formulele (4.1) și (4.2) se utilizează la metode bazate pe măsurarea timpului și puterii, iar formula (4.3) la metode bazate pe comparația cu un contor etalon.

4.2. Metode de verificare a contoarelor electrice de inducție

Necesitatea asigurării furnizorilor de energie electrică și a abonaților, consumatori de energie electrică, cu contoare de bună calitate, cu erori cît mai mici, a determinat găsirea unor soluții de verificare a încadrării contoarelor în limitele de precizie prevăzute în actele normative în vigoare.

Principiile și metodele studiate și aplicate de diverse firme, de la verificările executate manual pînă la cele folosind linii automatizate, permit clasificarea lor, în modul cel mai succint, în cîteva grupe distincte:

a) măsurarea energiei electrice prin măsurarea concomitentă a puterii și timpului;

b) compararea directă a vitezei discului contorului cu a unui contor model;

c) compararea vitezei discului contorului cu a unui contor model folosind efectul stroboscopic;

d) compararea energiei electrice înregistrate de contor cu energia înregistrată de un contor model.

Pe baza acestor principii se vor expune mai jos metodele cele mai utilizate de verificare a contoarelor.

4.2.1. *Metoda timp-putere*

Valoarea reală a consumului de energie se determină pe cale indirectă cu ajutorul a două aparate: unul care măsoară puterea electrică și altul care măsoară timpul.

Această metodă se bazează pe măsurarea unui anumit număr de rotații ale discului sistemului mobil al aparatului de verificat și pe măsurarea timpului utilizat pentru aceasta, presupunîndu-se în acest caz că puterea reglată și urmărită cu ajutorul wattmetrelor de precizie rămîne constantă pe timpul măsurării.

La verificarea contorului sub sarcină diferită de cea nominală, numărul de rotații calculate se micșorează sau se mărește de atîtea ori, de cîte ori această sarcină este mai mică sau mai mare decît cea nominală; datorită acestui fapt timpul t_0 rămîne același pentru toate sarcinile, ceea ce simplifică calculul erorilor.

Tendința de a perfecționa această metodă și de a-i mări precizia a condus la apariția dispozitivelor de numărare automată a rotațiilor efectuate de discul contorului verificat.

În fig. 4.1 se dă schema de realizare a unui astfel de procedeu de verificare.

În fața contorului C_v se montează un cap fotoelectric *CF*. Acesta se compune dintr-o lampă de iluminare cu dispozitivul optic corespunzător și dintr-un fotoelement. Capul fotoelectric se montează în așa fel, încît fluxul luminos al lămpii să fie focalizată pe bordura discului contorului și apoi reflectat să cadă pe fotoelement. La fiecare trecere a reperului colorat în fața ferestrei de vizare, intensitatea de iluminare a fotoelementului se micșorează brusc. Din cauza aceasta în circuitul fotoelementului apare un impuls electric care este amplificat și transmis dispozitivului de citire *DC*. Dacă dispozitivul de citire este conectat, la primul impuls primit de la contor, pornește dispozitivul de măsurare a timpului *DT* și începe măsurarea rotațiilor pe care le efectuează discul. După trecerea unui anumit număr de impulsuri stabilit, se deconectează aparatul de măsurat timpul.

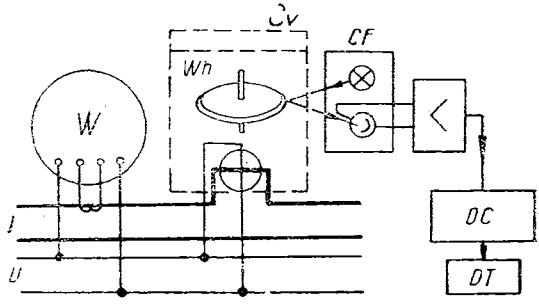


Fig. 4.1. Schema de verificare prin metoda timp-putere utilizînd un wattmetru pentru măsurarea puterii și numărarea automată a rotațiilor.

Dispozitivul descris elimină erorile subiective ale operatorului și ridică productivitatea muncii aproape de două ori, deoarece, în cazul acesta, verificarea se poate efectua de un singur om.

Contoarele etalon portative pot fi folosite cu succes și pentru verificarea individuală a contoarelor separate, atît pe locul lor de montare, cît și în condițiile atelierelor, precum și la diferite cercetări de laborator.

Întregul proces de verificare în acest mod este foarte apropiat de procesul de verificare după metoda wattmetru-cronometru și se deosebește de el numai prin faptul că operatorul conectează în loc de cronometru, contorul etalon, cu ajutorul căruia determină eroarea contorului care se verifică, prin comparație.

La pornirea-oprirea contorului etalon, la fel ca și la pornirea cronometrului, în cazul cînd verificarea se face după metoda wattmetru-cronometru, apar erori subiective esențiale. Pentru eliminarea lor se aplică citirea automată a numărului de rotații de la partea mobilă a contorului care se verifică.

Schema de verificare pentru cazul acesta este arătată în fig. 4.2.

Această schemă se deosebește de fig. 4.1 prin aceea că dispozitivul de citire *DC*, care citește numărul de impulsuri

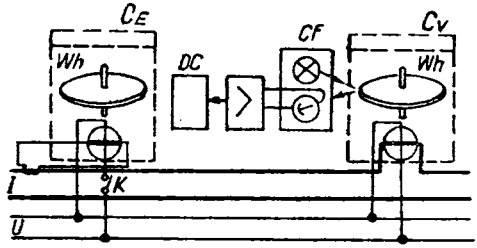


Fig. 4.2. Schemă de verificare după metoda timp-putere, utilizînd un contor etalon și citirea automată a rotațiilor

primite de la capul fotoelectric *CF*, așezat înaintea contorului de verificat, comandă contactul *K* din circuitul de tensiune al contorului etalon.

Trebuie remarcat că schema din fig. 4.2 nu este completă, în ea trebuie conectat suplimentar un wattmetru, ca să avem posibilitatea de a stabili valoarea necesară a lui cos φ a sarcinii. Tensiunea și curentul se reglează după ampermetre și voltmetre a căror prezență este obligatorie în fiecare instalație de verificare.

4.2.2. *Metoda punctului de control*

Întrebuințîndu-se ca instrumente de măsurat contoare etalon în locul wattmetrelor de precizie, este posibilă realizarea unei metode de comparare. În funcție de execuția contoarelor etalon, rezultă un procedeu pur de comparare a rotațiilor sau o comparare combinată de impulsuri și rotații, la care sînt necesare și alte elemente electronice auxiliare, așa cum vom vedea.

În esență, metoda punctului de control numită uzual și metoda *contor etalon* constă în compararea indicației mecanismului de înregistrare de la contorul care se verifică cu indicațiile contorului etalon. Această metodă și-a găsit o largă aplicare, utilizîndu-se pentru verificarea simultană a unui număr de pînă la 200 bucăți contoare. Se notează indicațiile mecanismelor de citire, atît la contoarele care se verifică, cît și la contorul etalon, după care se conectează sarcina. După ce indicațiile contorului etalon variază cu o mărime anumită, sarcina se deconectează și se notează indicațiile noi ale contoarelor de verificat. Pe baza datelor obținute se determină eroarea fiecărui contor care se verifică.

Metoda implică o comparare a rotațiilor acelor indicatoare ale sistemului sau ale discului contorului de etalonat, respectiv a numărului dat de impulsuri în cazul sistemelor cu impulsuri ale contorului de încercat.

Cu acest procedeu se verifică nu numai justețea reglării vitezei de rotație a discului de la contorul de verificat, ci se controlează în același timp și justețea de funcționare a mecanismului său de integrare, care în cazul tuturor celorlalte procedee de verificare necesită o operație suplimentară.

Alte avantaje pe care le prezintă metoda punctului de control constau în durata suficient de mare a funcționării

contoarelor care se verifică și care permite astfel depistarea defectelor separate ale montajelor. Prezintă ca avantaj esențial o mare productivitate.

Ca dezavantaje, necesită o suprafață mare de producție și timp de încercare mare.

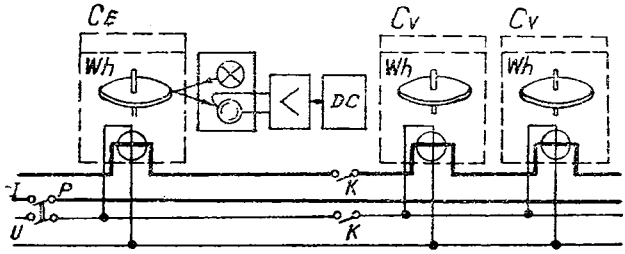


Fig. 4.3. Schema metodei punctului de control.

Cînd se utilizează această metodă, se cere multă atenție pentru ca sarcina să fie deconectată la momentul potrivit.

Aceasta se poate realiza prin automatizarea procesului de deconectare ca de exemplu în schema din fig. 4.3.

În fața contorului etalon C_E se așază capul fotoelectric ale cărui impulsuri electrice, printr-un amplificator A, se aduc la dispozitivul de citire DC. Înainte de verificare, operatorul notează indicațiile mecanismelor de citire de la contoarele care se verifică și după aceea cu întreruptorul cu pîrghie K se conectează sarcina.

Dispozitivul de citire este construit în așa fel încît după un număr de impulsuri dat, adică după un număr de rotații determinat ale discului de la contorul etalon, el decuplează contactele K din circuitul de alimentare a contoarelor care se verifică C_v.

Deci în acest caz spre deosebire de automatizarea de la metoda wattmetru-cronometru, dispozitivul de numărare nu comandă aparatul de măsurare a timpului, ci un întreruptor din circuitul de tensiune al contorului etalon.

4.2.3. *Metoda mersului sincron*

O metodă foarte des întrebuințată pentru determinarea justeții indicațiilor contoarelor în timpul reglărilor este metoda mersului sincron, metodă utilizată în atelierele de re-

parare a contoarelor. Schema de principiu pentru realizarea acestei metode este arătată în fig. 4.4.

Metoda concepută pentru reglarea contoarelor la sarcini mici se foloseşte cu rezultate bune şi la verificarea contoarelor, eficienţa ei maximă fiind la controlul preliminar în vederea selecţionării contoarelor corespunzătoare.

Stabilind sarcina necesară, întreruptorul cu pîrghie K se decuplează şi prin aceasta contoarele se opresc. Discurile contoarelor de verificat şi ale celui etalon se aşază, de către operator, manual în poziţia în care începutul reperului vopsit pe marginea fiecăruia să coincidă cu reperul de zero pe discul mecanismului de citire. După aceea cu ajutorul întreruptorului cu pîrghie K se conectează circuitele paralel ale contoarelor. După ce discul contorului etalon efectuează un număr anumit de rotaţii, întreruptorul cu pîrghie K se decuplează.

Dacă discul unuia dintre contoarele de verificat are aceeaşi viteză ca şi discul contorului etalon, atunci are loc sincronizarea mersului şi eroarea contorului raportată la contorul etalon este egală cu zero.

Dacă discul contorului de verificat se roteşte cu viteză mai mare sau mai mică decît viteza discului contorului etalon, atunci după ce întreruptorul cu pîrghie K este decuplat, începutul reperului vopsit de pe discul lui nu va coincide cu reperul zero de pe discul mecanismului de citire şi va fi am-

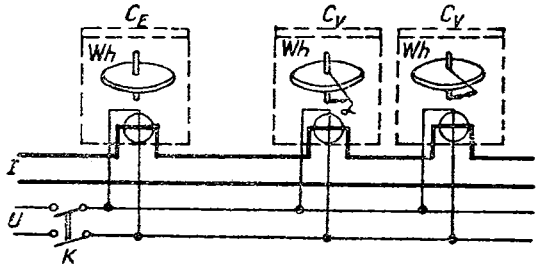


Fig. 4.4. Schema metodei mersului sincron.

plasat la o distanţă oarecare. Abaterea acestui reper de la reperul zero constituie măsura erorii contorului care se verifică. În raport cu mărimea şi sensul acestei abateri se va efectua reglarea necesară a contorului.

După aceasta operatorul din nou va așeza discurile și va repeta operațiile.

Pentru o verificare mai precisă se poate introduce un ampermetru gradat în procente care măsoară diferența de curent între contorul de verificat și cel etalon, cu ajutorul căruia se poate citi direct eroarea.

Metoda mersului sincron, ca și toate metodele care folosesc contoarele etalon, este comodă prin faptul că nu cere stabilizarea sarcinii, deoarece variațiile ei influențează în mod egal viteza de rotire a discurilor, atît la contoarele care se verifică, cît și la cel etalon. Variațiile de frecvență și tensiune, de asemenea, denaturează cu puțin justețea rezultatelor, întrucît și ele influențează aproximativ în aceeași măsură asupra contorului etalon și celor care se verifică.

Folosirea mersului sincron este rațională dacă reglarea se face concomitent pe 8 . . . 10 contoare.

4.2.4. *Procedee stroboscopice*

Spre deosebire de metodele expuse anterior, la verificarea contoarelor prin procedeele stroboscopice se compară valoarea instantanee a vitezei unghiulare a discului cu o anumită viteză unghiulară. Această comparație se efectuează pe cale optică.

Utilizate în special pentru reglarea contoarelor unde determinarea erorii nu ridică pretenții de rigurozitate deosebită, într-o clasificare foarte simplă se pot distinge următoarele variante:

a. Lampa stroposcopică alimentată cu tensiune avînd frecvența dată de un contor etalon ce funcționează în aceleași condiții cu contorul de verificat.

b. Lampa stroboscopică alimentată de la un generator de frecvențe.

c. Lampa stroboscopică alimentată de la tensiunea rețelei ca și contorul de referință ale cărui erori se cunosc cu precizie.

În descrierea procedeelor ce urmează și care se vor detalia prin exemple, nu se va ține seama de secvența din clasificarea de mai sus.

Procedeul direct. Cel mai vechi procedeu stroboscopic este procedeul numit și *stroboscopul cu ocular.* Blathy este cel care l-a utilizat în forma indicată în fig. 4.5. Aparatul de etalonat are pe circumferința discului nu număr de repere dispuse la distanțe egale, iar discul contorului etalon are găuri. Observatorul privește prin găurile din discul contorului etalon la reperele de pe discul aparatului de etalonat.

Dacă ambele discuri au aceeași viteză unghiulară, atunci reperele aparatului de etalonat apar ca și cînd ar sta pe loc; dacă aparatul de etalonat merge mai repede decît cel etalon,

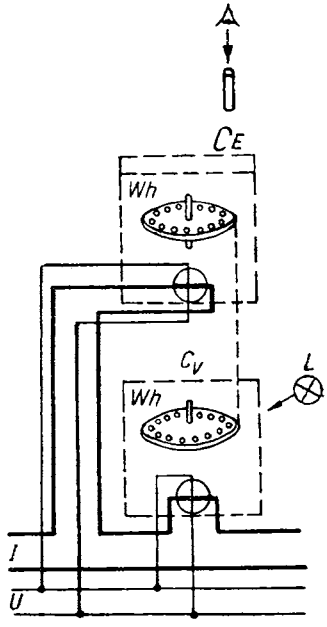


Fig. 4.5. Schema instalației stroboscopice a lui Blathy.

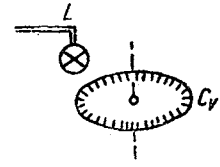


Fig. 4.6. Schema principală a procedeului de reglare stroboscopică indirectă.

atunci reperele apar mișcîndu-se în direcția rotației iar, dacă merge mai încet, în direcția inversă.

Procedeul indirect. Pe lîngă acest procedeu direct s-a introdus pentru etalonarea contoarelor un procedeu indirect al cărui principiu este indicat în fig. 4.6.

Pe circumferința discului aparatului de etalonat sînt trasate o serie de repere la distanțe egale. Ele sînt luminate de o sursă de lumină care emite raze luminoase de o anumită frecvență.

Reperele de pe discul aparatului de încercat apar stînd pe loc, cînd numărul de repere care trec în fiecare secundă prin fața unui punct fix este egal cu frecvența luminii sau cu un multiplu întreg al acesteia.

Dacă discul merge mai încet, atunci reperele apar mișcîndu-se în sens invers direcției de rotație ; dacă discul merge mai repede, ele par să se miște în direcția de rotație.

Pentru a se determina erorile contoarelor de verificat trebuie stabilită abaterea de viteză a reperelor. Dacă contorul de verificat are de exemplu 400 de repere la circumferința discului și contorul face 60 rot/min adică 1 rot/s și se luminează reperele cu 400 iluminări pe secundă, atunci eroarea este de +0,25%, dacă discul pare că se mișcă cu un reper pe secundă în direcția sa de rotație. În general eroarea aparatului de verificat este egală cu numărul reperelor care trec într-o secundă prin fața unui punct fix, împărțit la frecvența f_b a luminii oscilante.

Cînd contorul etalon, care emite razele de lumină, are aceeași construcție ca și aparatul de etalonat și are aceleași domenii de măsură, procedeul stroboscopic este foarte simplu. Cînd însă vrem să etalonăm diverse tipuri de contoare, sînt necesare multe contoare etalon respectiv surse de lumină. Acesta constituie un dezavantaj al acestei metode, care nu este prin urmare o metodă universală.

Dacă f_b este frecvența emisiunii, adică numărul de iluminări pe rotație pe care le emite contorul etalon de sarcină constantă și are aceeași valoare la toate sarcinile, și f_m este frecvența de mișcare a reperelor fixate pe discul aparatului de etalonat, rezultă o imagine aparent statică a reperelor atunci cînd $f_m p = f_b q$ (p și q sînt numere întregi).

Dacă $p = q = 1$, atunci este cea mai clară citire pentru compararea a două contoare asemănătoare. Dacă f_m este un multiplu întreg de f_b, cum de exemplu $f_m = 3\ f_b$ ($p = 1$; $q = 3$), adică aparatul de etalonat merge mai repede cu sarcină mai mare, în timp ce frecvența f_b a luminii oscilante rămîne constantă, atunci reperele singulare ale imaginii sta-

tice se îngreunează, deoarece în timpul duratei unei raze de lumină reperele parcurg un drum din ce în ce mai mare, în exemplul nostru triplu.

Dacă invers, f_b este multiplu întreg de f_m, astfel de exemplu $f_b = 5\ f_m$ ($p = 5$, $q = 1$) sau $f_m = \frac{1}{5} f_b$, adică contorul merge cu sarcină mică, prin urmare încet, în timp ce frecvența f_b a sursei de lumină rămîne constantă, atunci divizarea prin repere apare din ce în ce mai subțire și parcursul unui anumit reper nu mai poate fi urmărit cu ochiul. La aceasta se adaugă încă faptul că la sarcini mici steguleţul de frînare condiționează o mișcare neuniformă a discului, astfel încît imaginea oscilează multă vreme. De asemenea, numărul de repere trebuie să aibă o valoare determinată, cînd vrem să obținem imagini bune pentru diferite încărcări ale aparatului de etalonat.

Ochiul pierde pentru frecvențe sub 20 Hz capacitatea ca impulsurile imaginilor care se succed la intervale de timp scurte să se reducă la o imagine totală. Dacă z este numărul reperelor pe circumferința discului, n_n — numărul de rotații pe minut a aparatului de etalonat la sarcina nominală, $m = N : N_n$ este încărcarea raportată la sarcina nominală a aparatului de etalonat, atunci frecvența reperelor $f_m = \frac{z\, n_n}{60} m$, iar numărul de repere pe circunferința discului $z = \frac{60\, f_m}{n_n\, m}$.

Dacă considerăm de exemplu un contor care are $n_n = 60$ rot/min și vrem să-l etalonăm stroboscopic la 5% din sarcina nominală N_n, atunci f_m trebuie să fie cel puțin 20 Hz, el trebuie să aibă cel puțin $z = \frac{20 \times 60}{60 \times 0{,}05} = 400$ repere pe circumferința sa.

La un contor care merge încet, de exemplu cu $n_n = 30$ rot/min și care are pe circumferința discului de asemenea $z = 400$ repere, se poate utiliza măsurarea stroboscopică numai de la o sarcină $m = \frac{f_m\, 60}{z\, n_n} = \frac{20 \cdot 60}{400 \cdot 30} = 0{,}1$, adică de la 10 % din sarcina nominală N_n în sus.

Pentru a lărgi limitele care sînt impuse la utilizarea procedeelor stroboscopice, se poate sau să se utilizeze diferite

frecvențe ale luminii oscilante sau să se prevadă ca discul aparatului de etalonat să aibă două-trei șiruri de repere. O importanță deosebită o are proporționalitatea dintre divizarea în repere și frecvența luminii, precum și o bună optică pentru iluminare.

Totuși la nici un dispozitiv de etalonare stroboscopică nu se trece cu vederea că imaginea stroboscopică la încărcări mici oscilează, deaorece discul merge neuniform din cauza acțiunii stegulețului de frînare și din cauza conducției neuniforme a discului.

De aceea reglarea și etalonarea stroboscopică se utilizează în principiu în mod avantajos la sarcini mari.

Avantajele metodei stroboscopice sînt următoarele:

— posibilitatea reglării imediate;

— cheltuieli mici de investiții.

Dezavantajele metodei stroboscopice sînt în principal:

— nu se utilizează la sarcini mici;

— exactitate redusă la un număr insuficient de repere.

Rămînînd în domeniul expunerii de procedee se dau în continuare cîteva dispozitive exclusiv stroboscopice, utilizate ca instalații sau subansambluri ce prezintă particularități de principiu.

Stroboscopul cu transparență. În fig. 4.7 se indică schița unui stroboscop cu ocular (cu transparență).

Pe axul unui motor sincron MS se dispune un disc S nterșanjabil, cu multe fante. O sursă de lumină L trimite

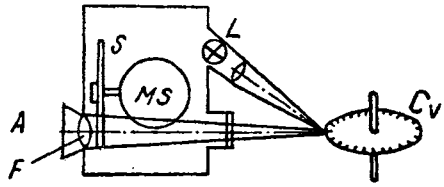


Fig. 4.7. Schema stroboscopului ocular.

un fascicol de lumină ce trece printr-un sistem de lentile și iluminează reperele probei de etalonare.

Întregul dispozitiv se ghidează astfel față de aparatul de etalonat încît razele sursei de lumină L să cadă exact pe repere. Marginea discului contorului de verificat este prevă-

zută cu un număr mare de repere sau fante, de exemplu 400, care sînt dispuse la distanțe egale pe circumferința discului.

Observatorul *A* poate să vadă clar reperele prin telescopul *F*.

Dacă numărul fantelor în discul stroboscopului este egal cu numărul reperelor discului contorului, atunci observatorului i se pare că reperele stau pe loc, adică ambele discuri au aceeași viteză unghiulară. Atunci cînd vitezele unghiulare ale ambelor discuri se deosebesc printr-un multiplu întreg, observatorul are impresia că reperele stau de asemenea pe loc, dar imaginea nu mai este atît de clară. Din această cauză se va monta pentru fiecare viteză unghiulară necesară a discului contorului de verificat un alt disc cu fante stroboscopice, ceea ce constituie un avantaj. Acest avantaj important constă în faptul că folosind un disc cu număr corespunzător de crestături, stroboscopul poate fi adaptat tuturor condițiilor. De asemenea, mai există și avantajul unei anumite libertăți în alegerea sursei de curent pentru antrenare. În acest caz cel care măsoară nu mai este legat de un contor etalon cu dispozitiv de generare a impulsurilor, ci poate utiliza o sursă de curent cu frecvență constantă, care astăzi se întîlnește în orice laborator de încercări și care este utilizată pentru antrenarea motorului sincron.

Acest stroboscop este foarte indicat și pentru reglarea în cazul sarcinilor mici (viteza de rotație a discului 10 rot/min) putîndu-se regla de fiecare dată numai un singur contor.

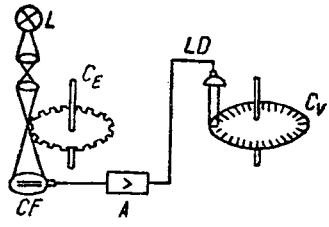


Fig. 4.8. Schema stroboscopului cu impulsuri luminoase.

Stroboscopul cu impulsuri de lumină (fulgere de lumină). În fig. 4.8 se indică schematic modul în care sînt dispuse aparatele într-o instalație cu indicator luminos. Lumina

acestuia este dirijată spre discul cu repere a contorului de verificat. Folosind un contor etalon ca generator de impulsuri se pot regla simultan mai multe contoare, dacă fiecărui contor de verificat i se repartizează o lampă fulger.

S-a creat un număr mare de astfel de aparate care reprezintă variante sau completări ale aparatului descris. Dintre acestea se vor prezenta numai cîteva dispozitive mai reprezentative.

Dispozitivul stroboscopic cu ecran. În fig. 4.9 se poate urmări schema instalației stroboscopice cu ecran pentru observarea imaginii stroboscopice.

La iluminarea acestor discuri de la becul de iluminat cu gaz *GL*, alimentat de curentul a cărui frecvență este proporțională cu viteza de rotire a discului contorului etalon, pe ecranul așezat sub discul contorului de verificat, operatorul vede proiecția nemișcată a discului cu dinții pe marginea lui.

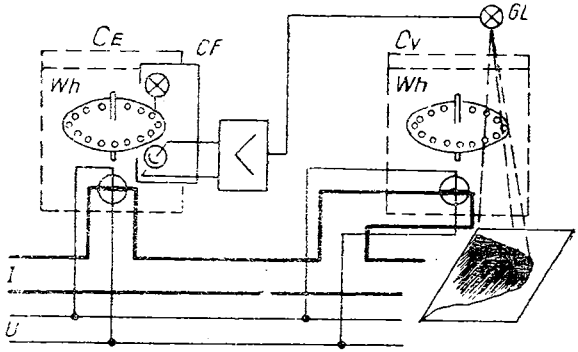


Fig. 4.9. Schema dispozitivului stroboscopic cu ecran.

Cînd vitezele contoarelor de verificat și ale celui etalon nu sînt egale, această imagine începe să se miște.

La executarea practică a acestui dispozitiv, proiecția discului de la contorul care se verifică este mărită și se observă de către operator în mod direct deasupra contorului de verificat, în planul standului pe care se așază contoarele.

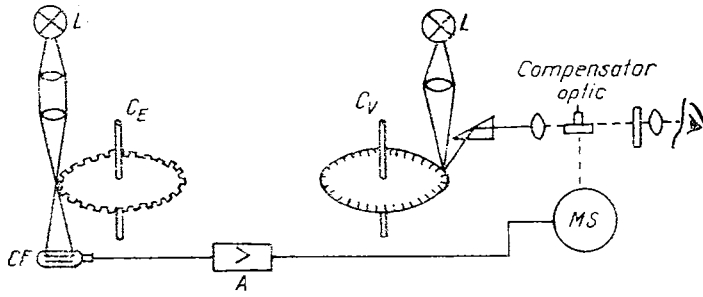


Fig. 4.10. Schema compensatorului optic.

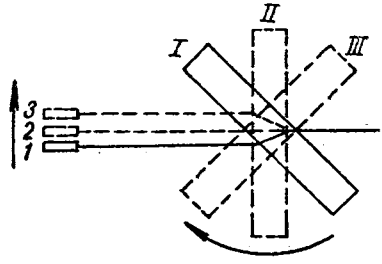


Fig. 4.11. Schiță explicativă a principiului de funcționare a compensatorului optic.

Acest lucru este realizat cu ajutorul sistemului de lentile și oglinzi. Un astfel de procedeu de observație a efectului stroboscopic ușurează munca operatorului. Sistemul optic, care se folosește pentru aceasta, este utilizat în același timp și pentru observarea discului contorului la verificarea sensibilității și mersului în gol.

Compensatorul optic. În fig. 4.10 se prezintă un compensator optic de construcție americană.

În acest caz impulsurile amplificate nu se mai aplică unei lămpi, ci unui motor sincron care acționează compensatorul optic prin intermediul unui mecanism și care reprezintă în același timp un stroboscop cu transparență, cu sarcină constantă. Cu ajutorul acestui dispozitiv se pot regla contoarele prin procedeul cu sarcină constantă.

Principiul de funcționare al compensatorului optic este explicat cu ajutorul fig. 4.11.

Dacă prizma compensatorului se rotește în direcția arătată de săgeată, atunci la alegerea corespunzătoare a raportului între viteza de rotire a rizurilor de pe discul contorului de verificat și viteza de rotire a compensatorului optic, operatorul va vedea pe ecran un șir de rizuri nemișcate. Într-adevăr, dacă la un moment dat rizul observat de operator de pe discul contorului de verificat va ocupa poziția *1*, acestui moment de timp îi corespunde poziția *I* a prizmei *2*. Peste un interval de timp oarecare, rizul care se observă se va deplasa în poziția *2*, operatorul o va vedea însă pe ecran în aceeași poziție ca și în primul moment, deoarece prizma compensatorului s-a deplasat și ea în poziția *2*. La deplasarea rizului în poziția *3*, imaginea lui pe ecran va rămîne pe același loc, deoarece prizma a și ocupat poziția *3* etc. Acest efect poate fi observat numai în cazul unghiurilor mici de rotire a prizmei, de aceea compensatorul optic se execută din două prizme perpendiculare prevăzute cu obturatoare. Folosirea compensatorului optic permite să se facă imaginea stroboscopică mult mai clară.

Diferite alte procedee combinate

Procedeul Omega. Un alt dispozitiv cunoscut în ultima vreme sub denumirea de procedeul Omega este indicat în fig. 4.12. Această instalație are ca aparat indicator un osciloscraf catodic.

Atît contorul de verificat (C_v), cît și contorul etalon (C_E) au prevăzută cîte o lampă de descărcare cu 400 de descărcări pe rotație. Impulsurile luminoase de la contorul etalon ajung la o celulă fotoelectrică și sînt transformate în impulsuri electrice, care sînt amplificate apoi de către un amplificator și aplicate pe placa de deflexie a osciloscrafului catodic. Circuitul este astfel ales încît spotul luminos descrie o imagine circulară pe ecranul tunului catodic al osciloscrafului (fig. 4.12).

Impulsurile electrice obținute în același fel de la contorul de verificat vor fi transmise de asemenea la tubul catodic.

Fiecare impuls provoacă o deviație a spotului luminos, astfel încît pe cerc apare o crestătură. La aceeași frecvență a impulsurilor contorului etalon și a celui de verificat, crestătura rămîne în aceeași poziție. Dacă frecvența impulsurilor contorului de verificat diferă de frecvența impulsurilor con-

torului etalon, atunci crestătura se deplasează pe circumferința cercului în stînga sau în dreapta, în funcție de mersul contorului de verificat față de cel etalon.

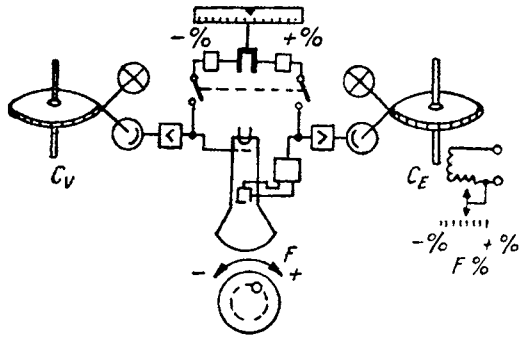


Fig. 4.12. Schema de principiu a metodei Omega.

Dacă frecvența impulsurilor diferă cu cîte un reper de control pe secundă, atunci reperul de control face o deplasare de 360° într-o secundă, deci o rotație completă.

Sensibilitatea citirii este foarte mare, ceea ce prezintă un mare avantaj.

Dezavantajul acestei metode constă în faptul că la încărcări mici ale contorului de verificat, unde discul se deplasează cu o viteză unghiulară neregulată, deplasarea crestăturii poate fi urmărită foarte greu.

Contorul fotoelectric. Unul dintre cele mai actuale aparate (fig. 4.13), utilizat pentru procedeele de integrare, este contorul fotoelectric al cărui principiu de funcționare este prezentat în cele ce urmează.

Un dispozitiv fotoelectric sesizează trecerea reperului roșu al rotorului și ca rezultat emite un impuls care este apoi amplificat, un numărător de impulsuri comandă dispozitivul după un număr n de impulsuri (programat înainte de începerea numărării). Comanda transmisă de acest contor, după numărul de impulsuri respectiv, poate fi utilizată pentru îndeplinirea celor mai diferite funcțiuni. Acest aparat se deosebește de altele asemănătoare prin aceea că alegerea pro-

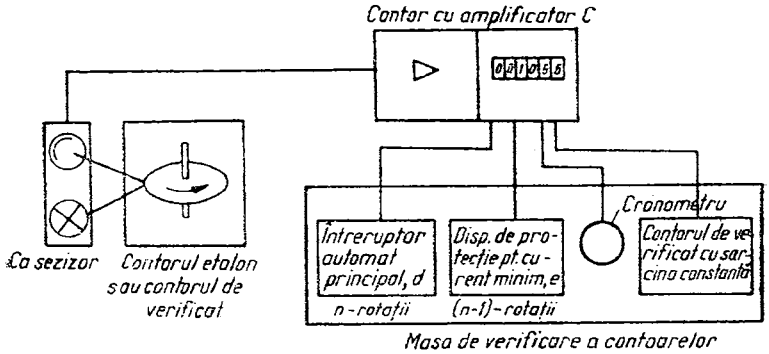


Fig. 4.13. Schema de principiu a contorului fotoelectric.

cedeului se poate face cu ajutorul unui comutator de metode. În momentul de față acest aparat are posibilități de reglare pentru următoarele funcții :

• Verificarea sincronă cu și fără reducerea sarcinii. La această verificare capul sesizor cu tub fotoelectronic se aduce în fața contorului etalon și în felul acesta numără rotațiile discului contorului etalon. După executarea numărului de rotații programat pentru contorul etalon, se deconectează masa de verificare de la aparat (în măsura în care ea este prevăzută cu comenzi pentru întrerupere automată) și anume: în cazul verificării sincrone fără reducerea sarcinii, adică după n rotații, la contoare ale căror discuri se rotesc foarte încet.

La verificarea sincronă cu reducerea sarcinii, după cea de a $(n-1)$ rotație, se conectează o sarcină mică. Ultima rotație se face cu o turație mai redusă, astfel încît la ultima apropiere de reperul roșu, discul motor se poate opri imediat. Operatorul care execută verificarea contoarelor nu are decît să determine eroarea din poziția discului contorului de verificat, fiind eliberat de operația de a număra rotațiile.

• Verificarea cu wattmetru — cronometru. În acest procedeu contoarele sînt verificate pe cale fotoelectrică. Contorul acționează cronometrul la începutul perioadei de măsurare și apoi îl oprește după cea de a n rotație. Timpul

în care s-au parcurs rotațiile discului poate fi citit pe cronometru, fără erorile subiective ale celui care execută verificarea.

• Verificarea cu contoare de comparație cu sarcină constantă. Și la acest procedeu de verificare a contoarelor se folosește principiul fotoelectric. Contorul etalon cu sarcina constantă este pus în funcțiune, pe perioada celor n rotații, cu ajutorul unui dispozitiv contor de acționare fotoelectrică. Eroarea se poate citi direct în procente pe scara contorului etalon cu sarcină constantă. În felul acesta se elimină, de asemenea, numărarea rotațiilor discului, evitîndu-se astfel erorile subiective.

• Verificarea prin procedeul cu impulsuri de etalonare. Acest procedeu prezintă o extindere a procedeului de reglare sincronă. Deasupra fiecărui contor de verificare, pe raza de prindere, se găsește o mică lampă de semnalizare, care produce impulsuri luminoase de cîte ori reperul roșu al contorului etalon se găsește în fața capului sesizor. Toate reperele roșii ale contoarelor de verificat au fost așezate la partea din față, înainte de începerea măsurării. De la cel de al doilea impuls al lămpii de semnalizare se poate vedea dacă reperul roșu al contorului de verificat se rotește sincron cu cel al contorului etalon, respectiv rămîne în urmă sau o ia înainte.

• Verificarea de durată. La verificarea de durată, dispozitivul de verificare al contoarelor se oprește după o anumită cantitate de energie ce trece prin contorul de verificat. Această cantitate de energie se poate programa în mod corespunzător caracteristicilor contorului etalon. După consumarea cantității de energie programate, mecanismul contor de programare întrerupe circuitul de curent al dispozitivului de verificare de durată al contoarelor. În cazul acesta, se poate stabili nemijlocit eroarea absolută a contorului de verificat din pozițiile mecanismelor de numărare, deoarece în acest caz se poate lua în considerație eroarea proprie a contorului etalon.

Cele cinci posibilități prezentate nu exclud posibilitatea utilizării instalației de bază și pentru reglarea stroboscopică rapidă a contoarelor.

Pentru ilustrarea punerii în practică a unor procedee și metode ce au fost mai sus enumerate, redăm pe scurt cîteva exemple de alte instalații automatizate concepute și aplicate de cîteva firme.

4.3. Cîteva instalații realizate pentru verificarea contoarelor electrice

Problema construirii unor instalații de etalonat și verificat contoare care să asigure o precizie cît mai ridicată, concomitent cu o manoperă redusă, preocupă din ce în ce mai mult atît pe producători, cît și întreprinderile și societățile de exploatare a energiei electrice.

Totuși, în prezent, o mare parte din aceste întreprinderi mai utilizează instalații clasice pentru reglat și verificat contoare, care practic sînt doar surse de curent alternativ cu posibilități de reglare a curentului, tensiunii și decalajului între curent și tensiune. Ele prezintă avantajul că sînt robuste și se pot utiliza pentru toate metodele, wattmetru-cronometru, contor etalon și stroboscopic.

În cele ce urmează vor fi prezentate cu titlu de exemplificare, atît astfel de instalații, cît și instalații semiautomatizate sau automatizate, în care se pot regăsi materializate una sau mai multe din procedeele și metodele expuse.

4.3.1. *Stația GANZ de reglat și verificat contoare trifazate*

Stația prezentată în fig. 4.14 este realizată de către uzina Ganz (R.P.U.) și folosește la etalonarea contoarelor monofazate și trifazate. Aceasta este o stație clasică cu circuite separate de curent și tensiune. Decalatorul de fază este un regulator inductiv obișnuit acționat de un servomotor.

Circuitul de tensiune are 22 prize cu tensiuni nominale cuprinse între 57,5 V și 550 V. Puterea debitată este de 500 VA.

Circuitul de curent este dotat cu 9 prize cu valorile nominale de curenți cuprinse între 0,25 A și 100 A. Puterea debitată este de 550 VA.

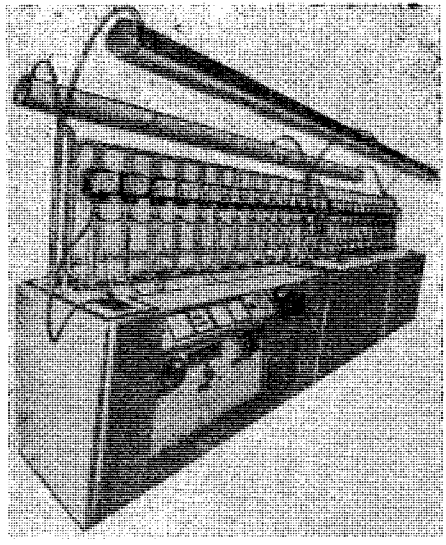


Fig. 4.14. Stația GANZ pentru reglat și verificat contoare.

4.3.2. *Stațiile de etalonat contoare ale firmei SIEMENS*

Firma Siemens este una din cele mai vechi firme producătoare de stații de etalonat contoare de energie electrică.

În cele ce urmează se dau doar cîteva exemplificări din fabricația acestei firme.

În fig. 4.15 este prezentată stația tip *DK* de încercat contoare, pentru trei contoare trifazate sau monofazate și pentru curenți pînă la 100 A. Acest mic model de echipament utilizează un contor etalon. Circuitele de curent sînt echipate cu trei transformatoare de măsură de clasă 0,1, în timp ce tensiunile sînt măsurate direct. Deși stativul stației este construit numai pentru trei contoare, puterea stației poate alimenta 20 contoare o dată.

În fig. 4.16 este prezentată stația tip *FW* pentru încercarea simultană a 40 contoare monofazate de 220 V și 60 A.

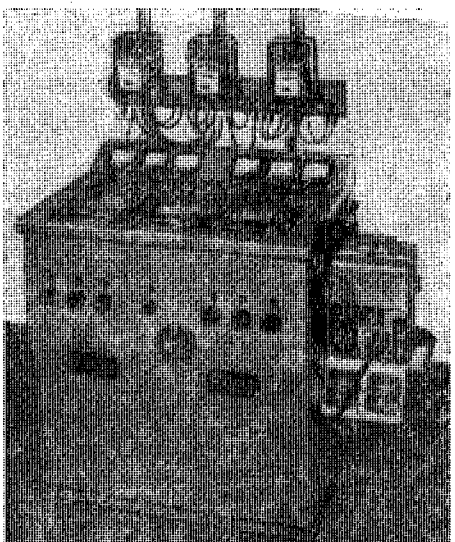


Fig. 4.15. Stație Siemens tip DK pentru etalonat și verificat contoare.

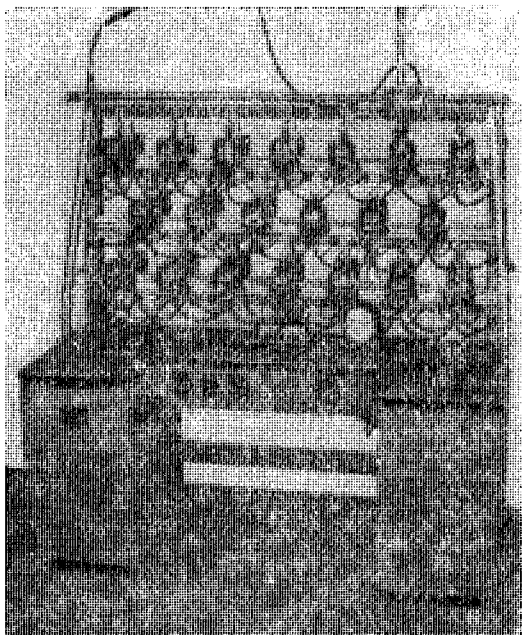


Fig. 4.16. Stație Siemens tip FW pentru etalonat și verificat contoare monofazate.

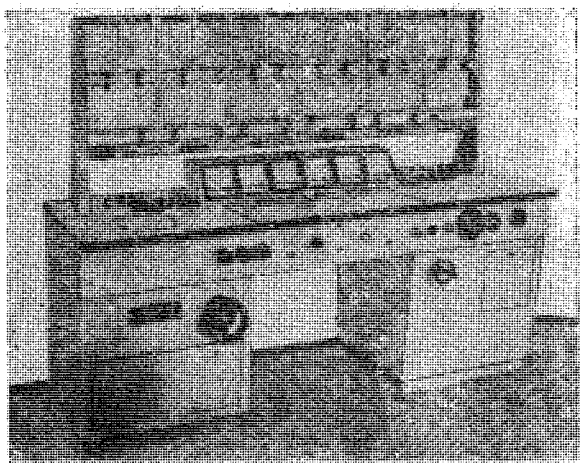


Fig. 4.17. Stația Siemens tip ED56 pentru încercarea contoarelor trifazate.

În fig. 4.17 se arată pupitrul pentru încercarea contoarelor trifazate tip ED56 cu un suport pentru cinci contoare trifazate sau 11 contoare monofazate. Stația este realizată cu trei tensiuni nominale 150 V, 300 V și 450 V și nouă trepte de curent pînă la 100 A. Stația este destinată încercării tuturor tipurilor de contoare monofazate și trifazate de energie activă și reactivă.

Pentru încercările de durată a contoarelor monofazate și trifazate s-au construit instalații tip DZW și respectiv tip DZ care permit verificarea simultană a 150 contoare monofazate la 220 V, pînă la 60 A și a 100 contoare trifazate 380/220 V, pînă la 100 A.

Contoarele sînt fixate pe stative separate.

4.3.3. *Stațiile de reglat și verificat contoare VOLKMAR — R.D.G.*

În figurile 4.18 și 4.19 se dau stațiile pentru verificat contoare de curent alternativ monofazate respectiv trifazate, iar în fig. 4.20 este prezentată o stație trifazată semiautomatizată la care citirea rotațiilor se face cu dispozitiv fotoelectric.

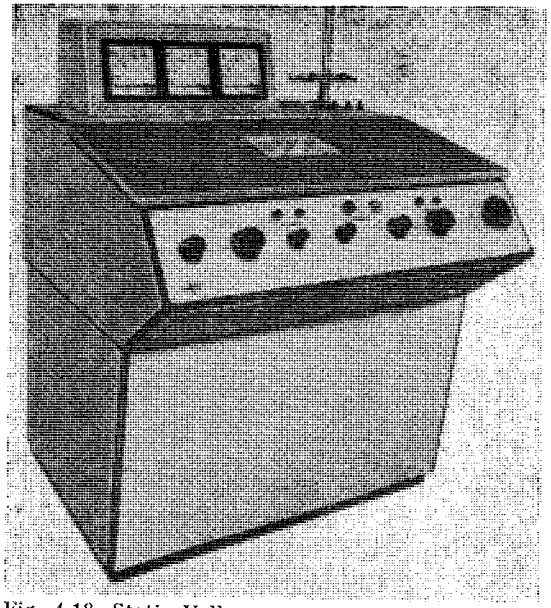


Fig. 4.18. Stația Volkmar pentru reglat și verificat contoare monofazate.

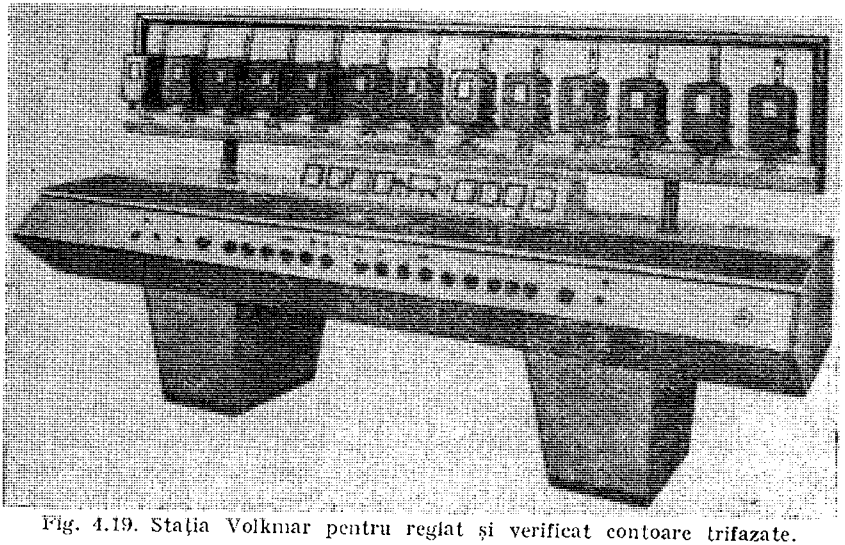


Fig. 4.19. Stația Volkmar pentru reglat și verificat contoare trifazate.

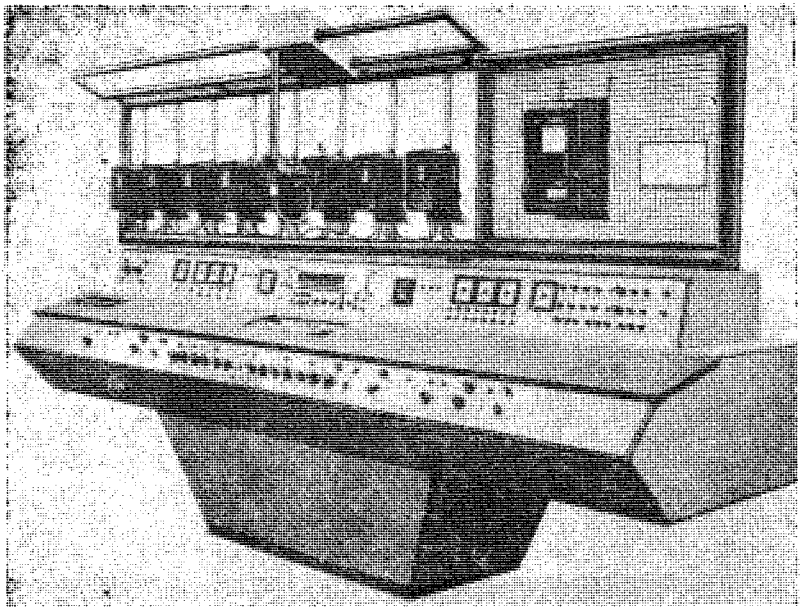


Fig. 4.20. Stația Volkmar semiautomată pentru reglat și verificat contoare trifazate.

4.3.4. *Instalație pentru verificarea în serie a contoarelor electrice — tip Schöne*

În fig. 4.21 este prezentată schema unei instalații de etalonat contoare, instalație care constituie obiectul unui brevet de invenție din Republica Federală Germania.

Particularitatea acestei instalații constă în faptul că tensiunea, curentul și factorul de putere au valori predeterminate și că toate regimurile necesare pentru încercarea contoarelor se obțin cu ajutorul unui singur comutator K.

Transformatorul de tensiune TV are două prize. Cu ajutorul comutatorului K_v se alege priza corespunzătoare, fie tensiunii nominale, fie unei tensiuni mărite.

Cu ajutorul prizelor transformatorului TP se reglează curentul spre exemplu 100 %, 50% și 10% din sarcina nominală.

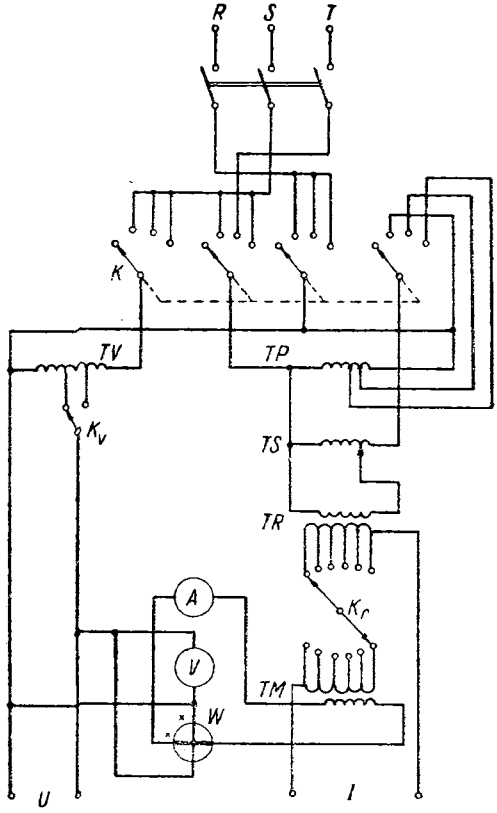


Fig. 4.21. Instalația de verificare cu valori predeterminate a contoarelor electrice tip Schöne.

Instalația poate servi la etalonarea contoarelor cu diverse valori pentru curentul nominal. În acest scop transformatorul de reglare TR posedă în secundar prizele corespunzătoare valorilor nominale ale curenților care sînt reglate prin intermediul comutatorului K_r. Reglarea comutatorului K_r nu se face de verificator ; se reglează la începutul verificării unei serii de contoare de către conducerea centrului de etalonare.

Pentru măsurarea curentului este conectat în circuit transformatorul de măsură *TM*. Transformatorul cu miez toroidal *TS* servește la reglarea sarcinii instalației de verificare; reglajul lui adaptează instalația la numărul contoarelor conectate odată la instalația de verificare.

4.3.5. *Instalația de verificat contoare monofazate în bandă rulantă*

Instalația folosită de întreprinderile Electromagnetica și Aparate electrice de măsurat Timișoara, a fost construită din necesitatea de a uniformiza ritmul benzilor de montaj și reglarea cu operația de verificare, constituind obiectul unor brevete de invenție [33 și 42].

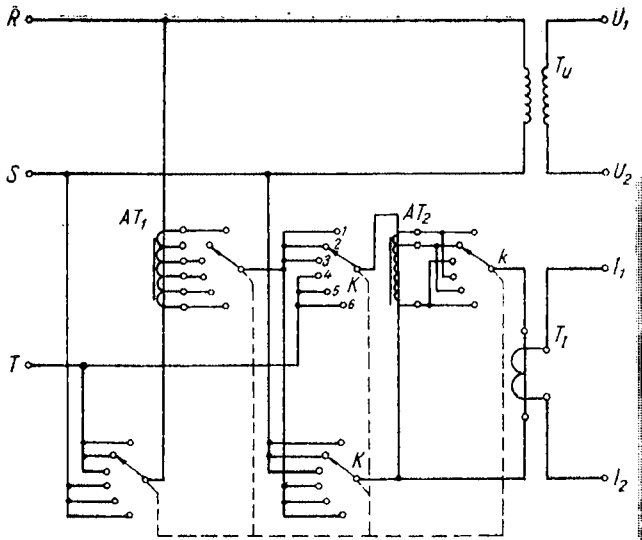
În fig. 4.22 *a* și *b* sînt date schema de principiu a instalației de verificat contoare monofazate și respectiv o vedere de ansamblu a ei.

Instalația permite verificarea contoarelor monofazate prin alimentarea unui circuit de tensiune cu tensiune constantă și a altui circuit cu curenți de amplitudine și faze predeterminate.

Instalația elimină timpul de reglaj, regimurile necesare pentru verificarea contorului fiind obținute printr-o simplă comutare. Această comutare se realizează cu un dispozitiv dotat, pentru obținerea unei tensiuni constante și a unui curent variabil ca amplitudine și fază, cu : un transformator care furnizează tensiunea de alimentare a circuitului de tensiune, un transformator de curent și un autotransformator cu ajutorul cărora se fixează amplitudinea curentului în circuitul de curent. De asemenea, instalația mai cuprinde un transformator care servește la fixarea curentului și un comutator cu ajutorul căruia se schimbă regimurile de verificare ale contoarelor.

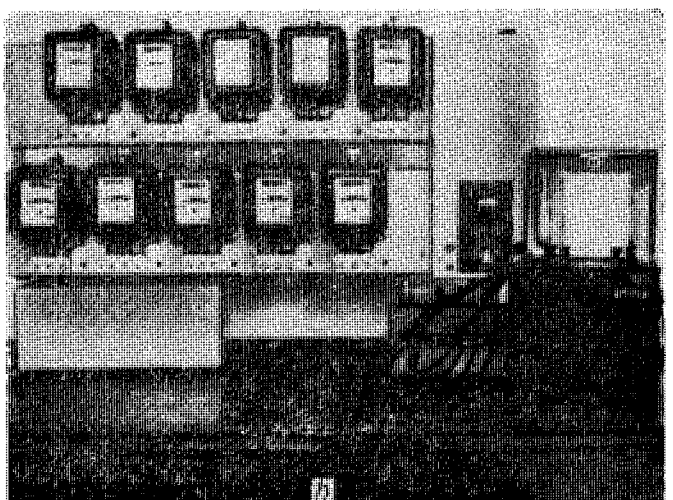
Transformatorul de tensiune T_U este alimentat în primar între două faze, în secundar rezultînd o tensiune constantă, de exemplu 220 V—50 Hz, pentru alimentarea circuitului de tensiune al contoarelor de verificat. Această tensiune este luată drept referință pentru decalarea curenților în circuitul de curent.

Curenții sînt obținuți cu ajutorul transformatorului de curent T_I și al autotransformatorului AT_2 cu care se reglează amplitudinea curentului la valoarea necesară.



a

Poziția comutator K	Regim de verificare	
	Sarcina	Factor de putere
1	400 %	1
2	100 %	
3	10 %	
4	400 %	0,5 inductiv
5	100 %	
6	10 %	



b

Fig. 4.22. Instalație de verificat contoare monofazate în bandă rulantă :

a — schemă electrică ; *b* — vedere ; AT_1 și AT_2 — autotransformatoare cu prize; *K* — comutator ; T_U — transformator de tensiune ; T_I — transformator de curent.

Instalația asigură, cu un singur operator în bandă, regimurile 0,8 U_n și 1,1 U_n ; 0,005 I_nU_n, 0,05 I_nU_n ; 0,1 I_nU_n ; 2 I_nU_n ; 4 I_nU_n la cos $\varphi = 1$ și respectiv 0,1 I_nU_n ; 2 I_nU_n ; 4 I_nU_n la cos $\varphi = 0{,}5$.

4.3.6. *Dispozitiv semiautomat pentru verificarea contoarelor monofazate și trifazate*

Tot la Întreprinderea Electromagnetica s-a realizat un dispozitiv pe principiul wattmetru-cronometru electronic.

Într-o redare succintă, funcționarea acestuia este următoarea : în fața contorului de verificat se așază un dispozitiv fotoelectric format dintr-un proiector — (sursă luminoasă) și o celulă fotoelectrică.

Fascicolul de lumină, reflectîndu-se de la periferia discului, cade pe tubul fotoelectric. De fiecare dată cînd pata colorată de pe discul contorului trece prin fața ferestrei contorului, fasciculul de lumină care cade pe fotocelulă este atenuat, ceea ce determină apariția unui impuls electric,

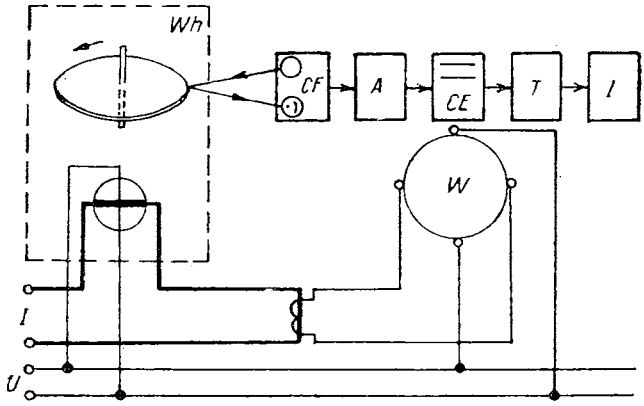


Fig. 4.23. Schema bloc și electrică a dispozitivului semiautomat pentru verificarea contoarelor.

care după ce este amplificat se aplică la un cronometru electronic de tipul R.F.T. sau Rochar.

În fig. 4.23 sînt indicate schema bloc și schema electrică a dispozitivului construit, iar în fig. 4.24 — schema amplificatorului acestui dispozitiv.

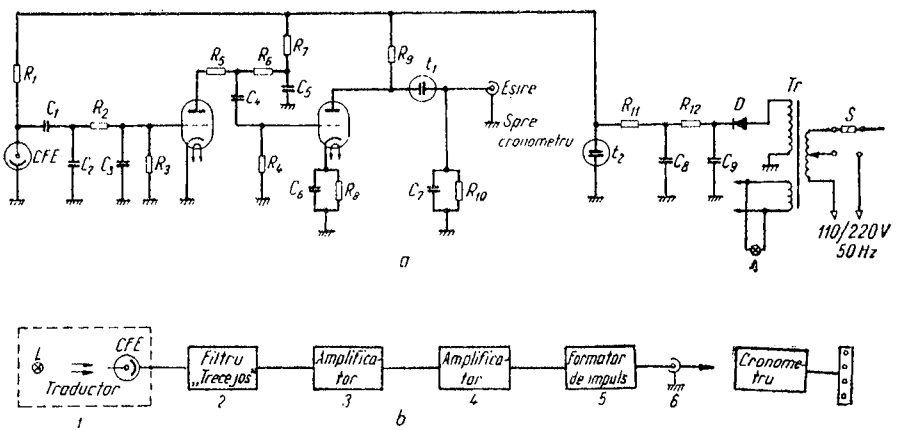


Fig. 4.24. Schema amplificatorului dispozitivului semiautomat pentru verificarea contoarelor :

a — schema electrică ; *b* — schema bloc.

4.3.7. *Stația MĒTRABLOC pentru etalonarea contoarelor monofazate și trifazate*

Stația Métrabloc (fig. 4.25) realizată de firma Landis & Gyr, servește la etalonarea contoarelor monofazate și trifazate de energie activă și reactivă. Poate alimenta succesiv două stative de etalonare și este alimentat direct de la rețeaua trifazată.

În pupitru sînt încorporate trei contoare etalon monofazate de energie activă și trei wattmetre de precizie. Un

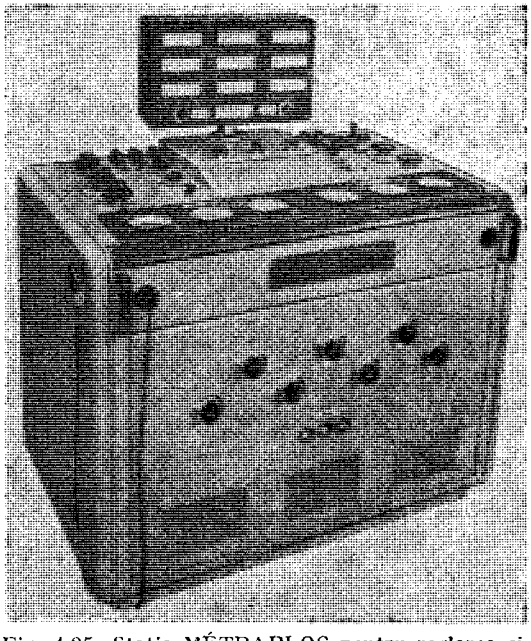


Fig. 4.25. Stația MÉTRABLOC pentru reglarea și verificarea contoarelor trifazate.

bloc suplimentar de trei contoare etalon de energie reactivă pot fi încorporate alături de primele.

În timp ce are loc etalonarea pe unul din stative, pe celălalt stativ sînt deconectate contoarele etalonate, montate noi contoare de etalonat și puse la preîncălzit.

Puterea stației Métrabloc este dimensionată pentru etalonarea a 10 contoare monofazate sau trifazate, cu trei sau patru fire, pînă la 30 A, sau 4 contoare pînă la 100 A. Tensiunea poate fi reglată între 0 și 400 V.

Stația este prevăzută cu un regulator de inducție de 500VA. De asemenea, există un comutator cu ajutorul căruia circuitul de tensiune poate fi conectat la diverse tensiuni decalate cu 60°, ceea ce permite o comutare rapidă de la cos $\varphi = 1$ la cos $\varphi = 0{,}5$.

Transformatoarele de măsură de tensiune și curent cu care este dotată stația au eroarea de raport $\pm 0{,}1\%$ și cea de unghi $\pm 3'$ la plină sarcină.

Cele trei voltmetre electromagnetice de 100 V, cele trei ampermetre de 5A și cele 3 wattmetre cu care este dotată stația sînt de clasă 1. Scările acestor instrumente au deschiderea 125% față de valoarea nominală.

4.3.8. *Stația trifazată PJUY-23 pentru etalonarea contoarelor active și reactive*

Stația trifazată tip PJUY-23 fabricată de societatea „Compagnie des compteurs" (Franța) servește la etalonarea și verificarea contoarelor trifazate active și reactive cu 3 și 4 conductoare. Poate fi utilizată și la etalonarea contoarelor monofazate. Verificarea se face cu ajutorul contoarelor etalon.

Circuitul de curent are 16 trepte de la 0,5 la A 100 A cu o putere disponibilă de maxim 125 VA pe fază. Circuitul de tensiune are 8 trepte de la 60 V la 400 V cu o putere de 100 V pe fază.

Stația este prevăzută cu ampermetre, voltmetre și wattmetre de tablou clasa 1,5, cu deschiderea scării de 250°, lungimea de 105 mm. Scara este astfel gradată încît permite o supraîncălzire de 20% față de valoarea nominală.

Contoarele etalon, wattmetrele, voltmetrele și ampermetrele sînt conectate totdeauna la aceeași valoare nominală prin intermediul a trei transformatoare de măsură de tensiune și trei de curent de mare precizie. Transformatoarele de măsură de tensiune sînt dotate cu un dispozitiv de compensare a erorilor. Eroarea globală de măsură este mai mică de $\pm 0{,}5\%$.

4.3.9. *Instalația VNIIEP pentru verificarea automată a contoarelor*

Schema de principiu a acestei instalații confecționată în U.R.S.S. este dată în fig. 4.26.

Discul contorului etalon se rotește continuu, el este prevăzut cu un mare număr de orificii amplasate în mod uniform pe circumferința lui. Impulsurile electrice ce iau naștere în timpul mișcării discului în circuitul fotoelementului se amplifică și se aduc la contoarele de impulsuri *CI* prin contactele *K*. Contoarele de impulsuri folosite sînt cu ac și au scări circulare. Ele sînt amplasate deasupra fiecărui contor care se verifică. În timpul unei rotații a discului contorului etalon, indicatorul contorului de impulsuri efectuează de asemenea o rotație completă.

Discurile contoarelor de verificat au teșituri spre care se îndreaptă fasciculele de lumină de la capetele fotoelectrice. Fasciculul de lumină reflectat de la teșitură cade pe fotoelement și în circuitul fotoelementului ia naștere un impuls pentru fiecare rotație de disc a contorului care se veri-

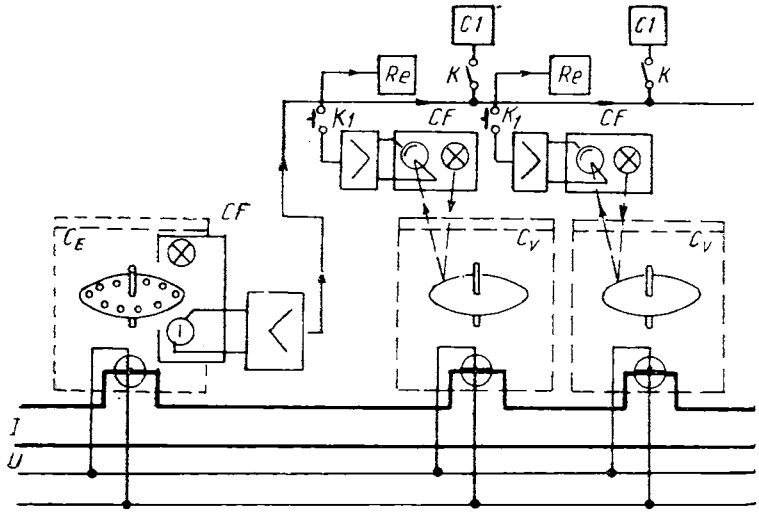


Fig. 4.26. Schema instalației VNIIEP.

fică. Aceste impulsuri se amplifică și se aduc la releul de pornire-oprire R_e care este construit în așa fel, încît la primul impuls primit de la capul fotoelectric închide contactul K, iar al doilea îl întrerupe.

Operatorul așază contorul pe stand, unde este conectat în mod automat în circuitul de alimentare și discul lui începe imediat să se învîrtă. Apăsînd pe butonul K_1, operatorul conectează releul R_e, iar indicațiile anterioare ale contorului de impulsuri CI sînt șterse în mod automat.

La prima trecere prin fața capului fotoelectric a teșiturii discului de la contorul de verificat, releul R_e declanșează și conectează contactul K. Contorul de impulsuri începe să numere impulsurile aduse de la capul fotoelectric al contorului etalon.

În momentul trecerii celei de a doua teșituri de disc de la contorul de verificat are loc întreruperea contacteler K și K_1. În felul acesta contorul de impulsuri numără impulsurile aduse de la capul fotoelectric al contorului în timpul unei rotații a discului de la contorul de verificat. Dacă viteza de rotație a discurilor de la contorul etalon și de la cel de verificat este aceeași, atunci indicatorul contorului de impulsuri va efectua o singură rotație completă. Acest lucru arată că eroarea lipsește la contorul care se verifică. Dacă viteza discului contorului etalon este mai mică decît viteza discului contorului de verificat, atunci indicatorul contorului de impulsuri va efectua mai puțin de o rotație. Dacă viteza discului contorului etalon este mai mare decît viteza discului contorului de verificat, atunci indicatorul va face mai mult decît o rotație. Pe scara CI se citesc erorile contoarelor care se verifică, direct în procente.

4.3.10. *Instalația MEMZ pentru etalonarea și verificarea contoarelor*

Schema de principiu a acestei instalații construită în U.R.S.S. este dată în fig. 4.27.

Discul contorului etalon care lucrează în regimul de sarcină constantă are 24 de orificii. Impulsurile ce iau naștere în circuitul fotoelementului în timpul mișcării discului se amplifică și se duc la releul de numărare a impulsurilor RNI.

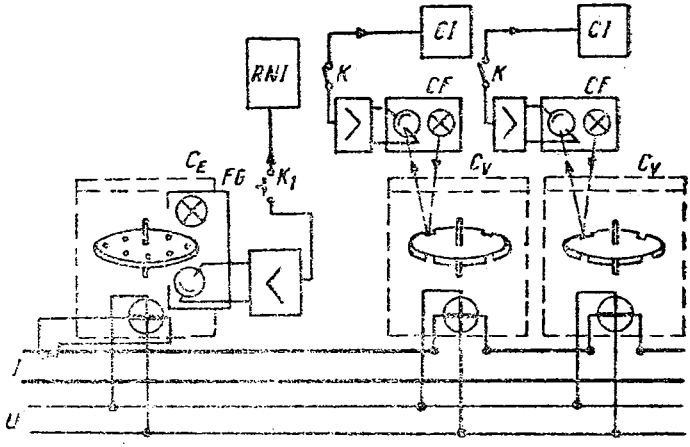


Fig. 4.27. Schema instalației MEMZ.

Discurile contoarelor de verificat au cîte douăsprezece teșituri așezate uniform pe marginea discului. Numărul inegal de repere de impulsuri pe discurile contoarelor de verificat și cele etalon este determinat de faptul că viteza de rotație a discului de la contorul etalon este de două ori mai mică decît viteza de rotație a discurilor de la contoarele de verificat. În fața contoarelor de verificat sînt așezate capete fotoelectrice în care iau naștere impulsurile electrice și care amplificate se duc la contoarele de impulsuri *CI*. După stabilirea regimului necesar de sarcină, operatorul fixează pe releul de numărare a impulsurilor *RNI* un astfel de număr de impulsuri de la contorul etalon care să corespundă probei date, de ex. 400 impulsuri; fixează toate contoarele de impulsuri *CI* în dreptul lui 0 și prin apăsarea butonului K_1 conectează releul *RNI*. Începînd cu acest moment releul de numărare a impulsurilor începe să numere impulsurile primite de la contorul etalon.

La primirea primului impuls de la contorul etalon releul *RNI* închide contactele *K* și contoarele de impulsuri *CI* încep să numere impulsurile primite de la contoarele de verificare. După ce trece numărul dat de impulsuri primite de la contorul etalon (400), releul de numărare a impulsu-

rilor întrerupe contactele K și numărarea impulsurilor primite de la contoarele de verificat încetează.

După indicațiile contoarelor de impulsuri, operatorul determină eroarea fiecărui contor care se verifică, astfel de exemplu dacă numărul nominal de impulsuri trebuie să fie 400, iar contorul de impulsuri a unui contor din cele care se verifică arată 406 impulsuri, atunci eroarea acestui contor va fi egală cu $\frac{406-400}{400} \cdot 100 = \pm 1{,}5\%$.

Instalația este calculată pentru verificarea concomitentă a 30 de contoare.

4.3.11. *Instalația MZES pentru verificarea automată a contoarelor*

Instalația este confecționată în U.R.S.S., pentru realizarea verificării contoarelor pe bandă în locul metodei mersului sincron folosite anterior.

Schema instalației este dată în fig. 4.28. Ca aparat de măsurat și etalon servește un contor special care funcționează stabil și care se verifică cu o precizie pînă la $\pm 0{,}25\%$.

Discul contorului etalon este prevăzut cu 24 orificii uniform amplasate pe circumferință. Fasciculul de lumină de la lampa de iluminat care trece în timpul rotirii discului contorului etalon prin aceste orificii, cade pe elementul fotoelectric. La fiecare rotație de disc a contorului etalon, în circuitul fotoelementului iau naștere 24 de impulsuri de curent. Aceste 24 de impulsuri se amplifică și se duc la dispozitivele de citire DC, care comandă contactele K din circuitele de tensiune ale contoarelor de verificat.

Instalația este calculată pentru verificarea concomitentă a 7 contoare.

Operatorul așază discul de la un contor dintre cele ce urmează a fi verificate într-o astfel de poziție, încît marginea reperului vopsit pe disc să coincidă cu reperul de pe discul mecanismului de citire și apasă pe butonul de pornire K, din circuitul dispozitivului de citire al acestui contor. Începînd cu acest moment impulsurile de la capul fotoelectric CF ajung la dispozitivul de citire. La aducerea primului impuls, dispozitivul de citire închide contactul K

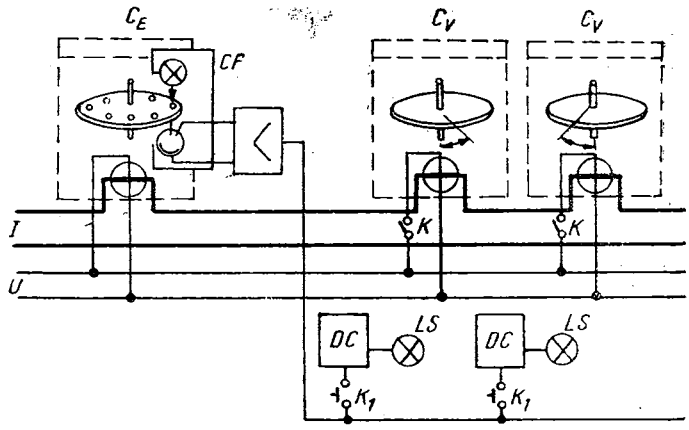


Fig. 4.28. Schema instalației MZES.

în circuitul de tensiune a contorului și începe să numere impulsurile aduse.

În acest timp operatorul pornește al doilea contor de verificat, apoi al treilea și așa mai departe. Dispozitivul de citire, după ce a citit 48 de impulsuri de la contorul etalon, ceea ce corespunde la două rotații de disc de la contorul de verificat, în cazul cînd el este bine reglat, întrerupe contactul K și prin aceasta oprește contorul care se verifică.

Concomitent cu aceasta se aprinde lampa de semnalizare LS și se deconectează butonul de oprire K_1. După poziția reperului vopsit al contorului care se verifică față de reperul de pe discul mecanismului de citire, operatorul determină semnul și apreciază valoarea erorii contorului. Dacă este necesar, efectuează operațiile necesare de reglare și după aceea operatorul din nou așază discul în poziția de zero, conectează contorul prin apăsarea butonului K_1 și din nou determină justețea indicațiilor lui după două rotații. Aceste operații se repetă pînă cînd contorul va fi reglat în măsura necesară. După reglare, contorul se scoate de pe stand și se trimite pe bandă pentru reglarea următoare.

La ridicarea contorului în circuitul curentului de la stand în locul înfășurării în serie a contorului se conectează în

mod automat o rezistență de sarcină, așa încît procesul de verificare a celorlalte contoare să nu fie deranjat.

Așa după cum se vede, pe instalația descrisă de obicei se realizează procesul de verificare prin metoda mersului sincron, însă prin automatizarea atît a numărării rotațiilor discului de la contorul etalon, cît și a procesului de pornire-oprire a contorului care se verifică, productivitatea a crescut simțitor.

Pentru sarcini mari și verificare la decalaj ($\cos \varphi \neq 1$) s-a conceput un automat care poate verifica circa 600 contoare pe schimb, fiind deservit de o singură persoană.

În fig. 4.29 este indicată schema generală a dispozitivului automat pentru verificarea contoarelor.

Într-un dulap metalic *1* se află două contoare etalon, care nu sînt arătate pe figură, 6 capete fotoelectrice *2*, sursele de alimentare și transformatoarele de măsură. În mijloc se află tamburul *3* heptagonal care se rotește pe un ax

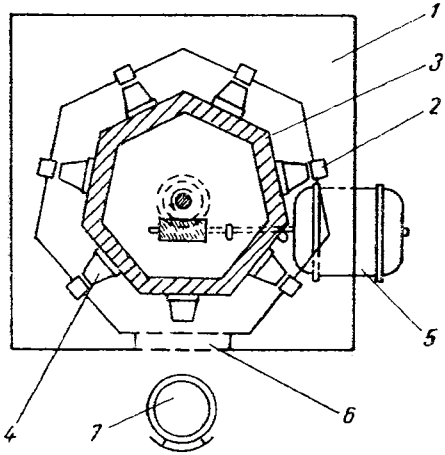


Fig. 4.29. Schema generală a automatului de verificare a contoarelor.

vertical. Pe marginile tamburului se fixează contoarele de verificat *4*. Transmiterea mișcării de la motorul *5* la tamburul *3* este realizată astfel încît în timp de 45 s tamburul nu se mișcă, iar după aceasta se rotește 1/7 rotații, apoi din

nou rămîne nemișcat timp de 45 s ș.a.m.d. În felul acesta contoarele de verificat trec în mod succesiv prin șase poziții. În timpul aflării lor pe fiecare dintre aceste poziții contorul este supus la una din sarcinile necesare pentru stabilirea curbei erorilor.

La fiecare sarcină se execută verificarea automată a contoarelor prin comprimarea indicațiilor sale cu indicațiile contorului etalon.

Trecînd de cele 6 verificări, contorul trece în poziția zero în fața ferestruicii *6*, unde lucrătorul înlocuiește apoi contorul. După cum se vede pe instalație, se pot verifica concomitent 6 contoare, la șase sarcini diferite în 45 s.

Schema electrică de principiu a automatului este dată în fig. 4.30.

Alimentarea schemei se face de la două faze ale rețelei trifazate. Rezistențele de sarcină R_a și R_c sînt alese astfel încît pentru tensiunile U_a și U_c, egale cu tensiunea nominală a contoarelor care se verifică (110 sau 220 V) curentul în fazele A și C să fie egale cu 1 A.

Rezistențele R_a și R_c sînt pur rezistive și curenții I_a și I_c sînt în fază cu tensiunile respective.

Curentul I_c rămîne în urmă față de U_a cu 60°. Înfășurările de tensiune ale contorului etalon CE_1 (care funcționează pentru cos $\varphi = 1$) și contoarele care funcționează pentru cos $\varphi = 1$ se conectează la tensiunea U_a, iar prin înfășurările în serie trece curentul secundar al transformatoarelor de măsurare, înfășurările primare fiind conectate la faza A. Înfășurările de tensiune de la contorul etalon CE_2 (care funcționează la cos $\varphi = 0{,}5$) și de la contoarele care se verifică se conectează la tensiunea U_a, iar prin înfășurările în serie trece curentul din secundarul transformatoarelor de măsurare; înfășurările primare sînt conectate la faza C.

Contoarele etalon au capete fotoelectrice pentru obținerea impulsurilor. Acești curenți se amplifică și se folosesc pentru alimentarea motoarelor sincrone MS_1 și MS_2, a căror viteză de rotație va fi proporționată cu viteza de rotație a discurilor de la contoarele etalon CE_1 și CE_2.

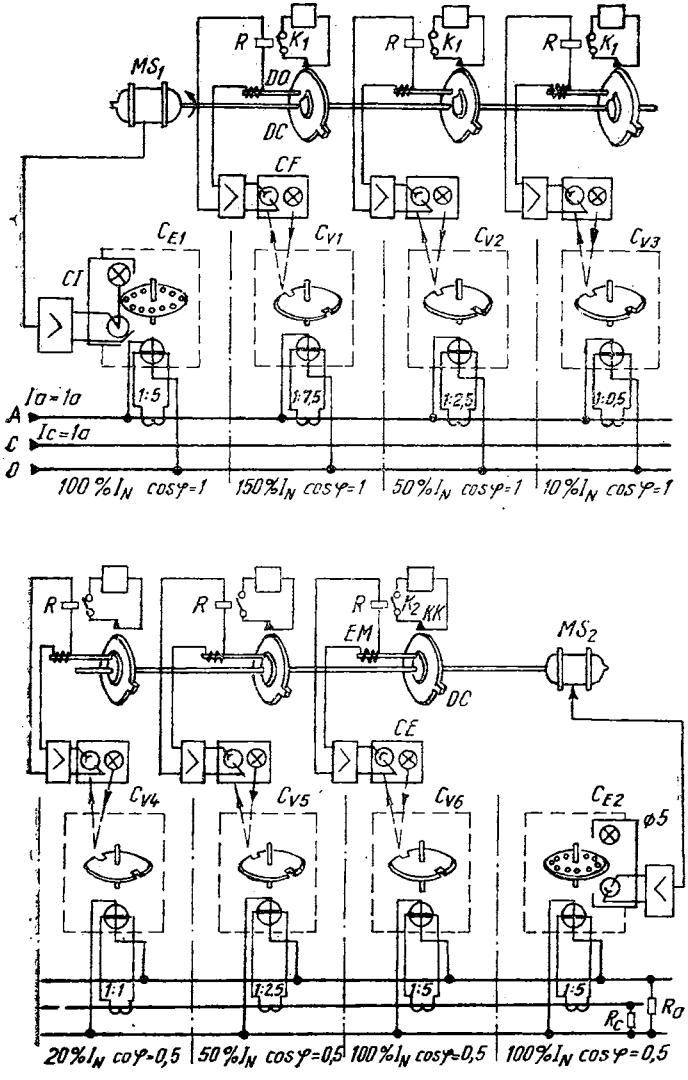


Fig. 4.30. Schema electrică a automatului de verificare a contoarelor.

Pe axul fiecărui motor se află trei discuri de contact *DC*. Aceste discuri sînt cuplate cu axul, nu rigid ci printr-un mecanism de fricțiune, care permite oprirea fiecărui disc fără oprirea axului. Discurile de contact sînt menținute și de dispozitivele de oprire *DO*, care sînt comandate de capetele fotoelectrice *CF*, aflate în fața fiecărui contor de verificare. Discurile contoarelor de verificat au cîte două teșituri așezate diametral, datorită cărui fapt în timpul rotirii lor iau naștere în circuitul fotoelementelor impulsuri periodice, care după amplificarea lor se aduc în circuitul releului *R* și electromagneților *EM*.

Funcționarea schemei în ansamblul ei se face în ordinea următoare : contoarele etalon sînt conectate continuu, aflîndu-se într-un regim de sarcină constantă și acest lucru permite reglarea lor în așa fel încît să aibă erori minime.

La fiecare rotire a tamburului, contoarele care se verifică se deconectează și se conectează din nou, în momentul în care tamburul *3* (v. fig. 4.29) se oprește în una din pozițiile fixate. La primul impuls de lumină care cade pe capul fotoelectric la trecerea prin fața ferestrei de vizare a teșiturii oblice de pe discul contorului de verificat, electromagnetul *EM* declanșează, se eliberează opritorul *DO* și discul de contact *DC* începe să se rotească. Teșitura de pe discul *DC* este așezată în așa fel încît timpul de rotire a discului socotit de la momentul de eliberare a opritorului *DO* pînă la momentul de închidere a contactelor k_1k_2 este egală cu 98 % din timpul calculat la un anumit număr de rotații, de exemplu 5. Timpul de la momentul de eliberare a opritorului *DO* pînă la momentul de întrerupere a contactelor k_1k_2, după trecerea prin fața lor a teșiturii discului *DC*, este de 102% din timpul normal al contorului de verificat.

Dacă în intervalul de timp de la 98% la 102% din timpul calculat, de la capul fotoelectric al contorului de verificat se va trimite un impuls, atunci contactele k_1 și k_2 vor fi închise concomitent, se va aprinde numai o singură lampă a indicatorului de bună funcționare și acest lucru va însemna că eroarea contorului este cuprinsă în limitele $\pm 2\%$.

Contorul aflat în poziția zero se ridică de către operator de pe instalație și vede în același timp pe tabloul indicatoarelor de bună funcționare dacă corespunde tuturor condițiilor.

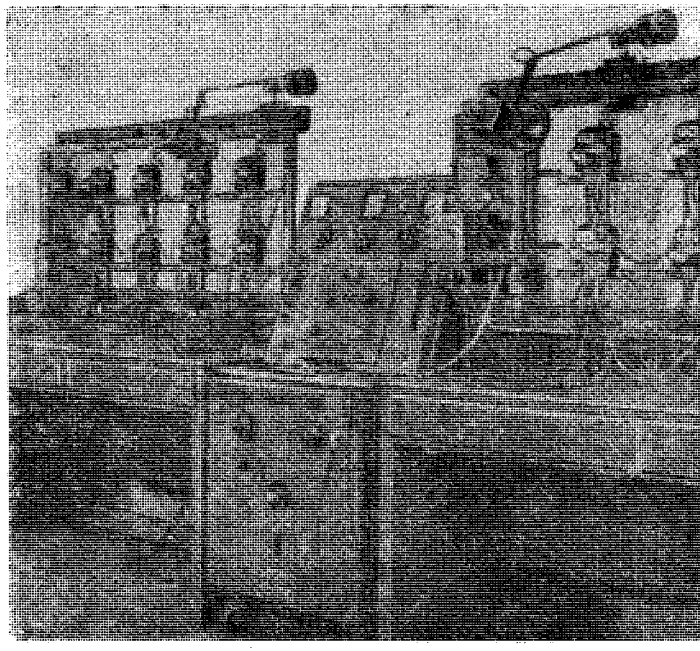


Fig. 4.31. Stația CDC tip PJUX-4 pentru etalonarea stroboscopică a contoarelor trifazate.

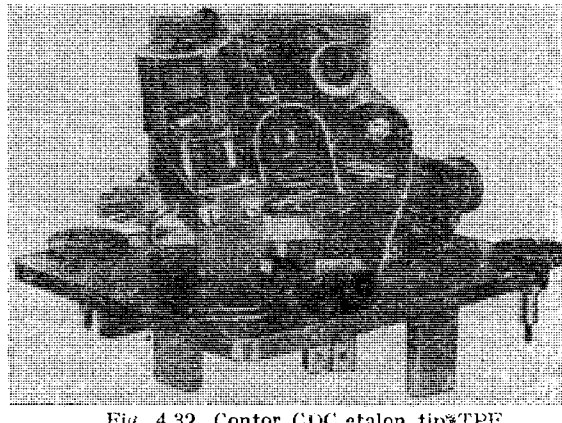


Fig. 4.32. Contor CDC etalon tip TPE.

4.3.12. *Stația tip PJUX-4 de etalonare a contoarelor monofazate*

Stația tip PJUX-4 (fig. 4.31) fabricată de societatea „Compagnie des compteurs-Montrouge" — Franța, servește la etalonarea stroboscopică a contoarelor monofazate și verificarea lor prin numărare automată cu citirea directă a erorii.

Ea folosește principiul etalonării stroboscopice și principiul numărării automate pentru încercarea individuală sau în serie a contoarelor cu repere fixe. Eroarea fiecărui contor în raport cu contorul pilot este apreciată după poziția semnului față de reper.

Pentru încercarea în serie a contoarelor se utilizează drept contor pilot contorul etalon prevăzut cu un cap de lectură portativ tip TPE (fig. 4.32) cu funcționare analoagă cu capul de lectură din panoul de prindere.

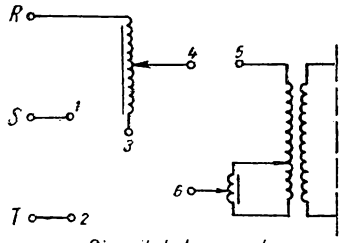
Această metodă permite verificarea rapidă a contoarelor după etalonarea lor stroboscopică.

Reglajul decalajului între tensiune și curent. O particularitate a stației PJUX-4 o constituie lipsa decalatorului de fază inductiv clasic. Cu ajutorul unui comutator se obțin 3 decalaje fixe: $\cos \varphi = 1$, $\cos \varphi = 0$ și $\cos \varphi = 0{,}5$ inductiv. În diagramele vectoriale din fig. 4.33 este prezentat mecanismul de obținere a acestor decalaje.

4.3.13. *Stația PJUY-50 pentru etalonarea și verificarea contoarelor monofazate și trifazate*

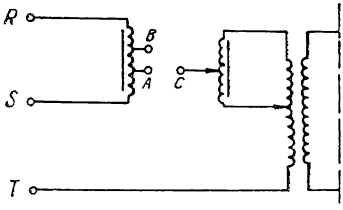
Stația PJUY-50 (fig. 4.34) fabricată de Compagnie des Compteurs—Franța, servește la etalonarea și verificarea contoarelor monofazate și trifazate cu 3 și 4 conductoare, active și reactive. Stația poate fi utilizată singură sau cuplată cu un programator.

Întrebuințată împreună cu una sau mai multe panouri de prindere, constituie o stație pentru etalonarea și controlul contoarelor. Alimentată din rețeaua industrială trifazată 3×127 V sau 3×220 V, stația furnizează tensiunile și curenții necesari pentru alimentarea a 20 contoare monofazate și trifazate. Etalonarea se poate executa, auto-



Circuitul de curent

Conexiuni		
Cos φ = 1	Cos φ = 0,5 ind.	Cos φ = 0
A-C	A-C	B-C
1-3	2-3	2-3
2-6	1-5	1-5
4-5	4-6	4-6



Circuit de tensiune

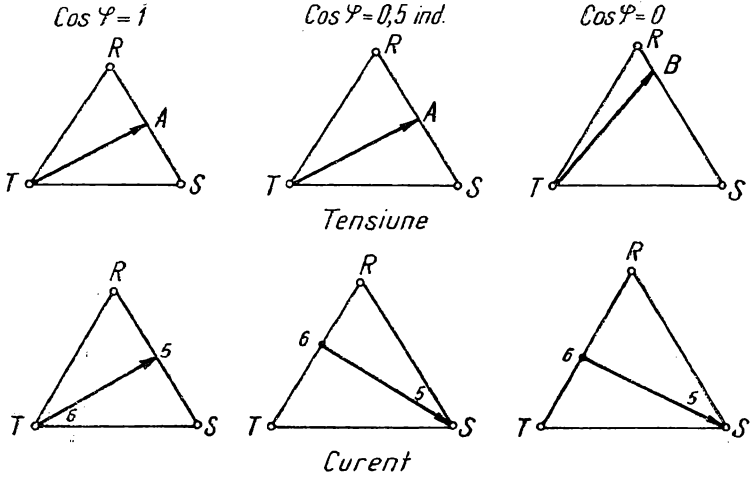


Fig. 4.33. Obținerea decalajelor fixe între tensiune și curent la stația tip PJUX-4 de etalonat contoare monofazate.

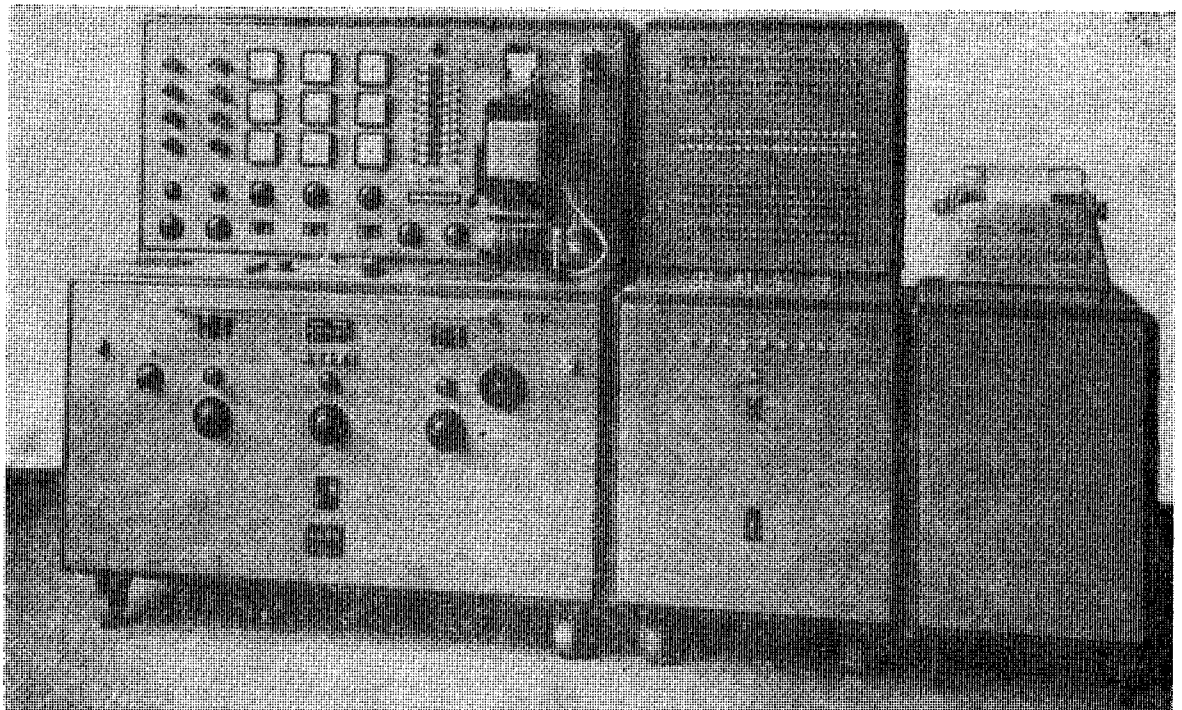


Fig. 4.34. Stația CDC-PJUY-50 pentru etalonarea și verificarea contoarelor trifazate.

mat sau manual, fie prin metodă comparativă cu un contor etalon, fie printr-o metodă stroboscopică. Stația PJUY 50 permite verificarea automată cu citirea directă a erorii, a contoarelor montate succesiv pe locul de prindere al stației.

Cuplată cu un ansamblu programator-transcriptor sau Scriptomat, stația poate realiza un program de încercări pe un contor plasat pe stație. Programul și rezultatele încercărilor sînt transcrise automat pe o mașină de scris telecomandată.

În esență stația cuprinde :

— circuitele de alimentare ;

— circuitele de măsură.

Circuitele de măsură sînt astfel realizate încît să permită o lectură cît mai ușoară a rezultatelor măsurărilor, erorile contorului de încercat apărînd pe cît posibil pe cadranul contorului etalon.

Fixarea valorii curentului și a tensiunii de alimentare a circuitelor contoarelor de încercat se face prin apăsarea unor butoane.

Defazajul dintre tensiune și curent se reglează prin acționarea asupra poziției rotorului față de statorul unui motor asincron. Prin apăsarea asupra unui buton se realizează automat un defazaj suplimentar de 60° față de valoarea precedentă.

Transformatoarele de măsură de tensiune și curent sînt astfel conectate între circuitele contoarelor de încercat și circuitele corespunzătoare ale contorului etalon, încît acesta rămîne în plaja sa de precizie indiferent de tipul contoarelor de încercat.

Drept contor etalon se utilizează fie un contor activ, fie unul reactiv. Aceste două contoare, ale căror discuri au un mare număr de dinți, sînt echipate cu cîte un dispozitiv cu celulă fotoelectrică și lampă cu descărcare pentru etalonare stroboscopică.

Stația PJUY 50 este prevăzută cu echipamentul necesar pentru numărarea automată a numărului de rotiri ale discului tuturor tipurilor de contoare.

Diferitele manevre pot fi comandate de la distanță printr-un dispozitiv de programare „Scriptomat", care se cu-

plează la pupitru. În acest caz rezultatul măsurărilor este transcris automat de către o mașină de scris, sistem descris în continuare.

Telescriptor automat tip scriptomat. Telescriptorul automat fabricat de Compagnie des Compteurs—Franța, este destinat a comanda automat pupitrul de alimentare și măsură PJUY 50, permițînd efectuarea, după un program predeterminat, a încercărilor pe diverse tipuri de contoare de inducție monofazate sau trifazate și înscrierea condițiilor diferitelor încercări împreună cu rezultatele, fără nici o intervenție manuală.

Operatorul compune programul de lucru și apasă pe butonul pornit și toate operațiile: schimbarea curentului, defazajul, repartizarea sarcinii între faze etc. se efectuează automat, semnalizate prin lămpile de semnalizare.

O mașină de scris transcrie în rezumat condițiile încercărilor, apoi înscrie erorile în procente ale contorului de verificat.

O sonerie semnalizează încheierea programului de încercare, în timp ce instalația trece în starea de repaus.

Telecomanda nu împiedică cu nimic utilizarea mașinii pentru operațiile obișnuite de dactilografiere.

Eroarea contorului de verificat se stabilește prin comparare cu controlul etalon. Aparatul este prevăzut pentru numărarea rotațiilor întregi ale contoarelor de verificat, deoarece discurile contoarelor în general nu sînt prevăzute cu dinți care să permită numărarea fracționată a rotațiilor și pentru că viteza contoarelor de calitate obișnuită nu este perfect uniformă în timpul unei rotații. Acest număr de rotații stabilite de operator și aplicate automat pentru fiecare punct din programul de încercări constituie perioada de măsură la sfîrșitul căruia se compară contorul de verificat cu contorul etalon.

Rotațiile contorului de verificat sînt numărate de un dispozitiv compus dintr-o lampă cu incandescență care luminează discul și o celulă fotoelectrică care primește lumina reflectată de muchia discului.

Variațiile curentului în celule fotoelectrice date de trecerea semnului sînt amplificate de un dispozitiv electronic; impulsurile sînt însumate de un comutator rotativ telefonic pas cu pas.

Discul contorului etalon are periferia crestată cu 500 dinți echidistanțați care sînt numărați în timpul perioadei de măsurare de către o fotodiodă cu germaniu, care excită un amplificator. Acest amplificator produce la trecerea fiecărui dinte cîte un impuls de amplitudine și formă necesară pentru comanda tuburilor de numărare zecimală tip Dekatron. Aceste tuburi, în număr de patru, totalizează impulsurile indicînd unitățile, zecile, sutele și miile. Ultimul tub excită un releu la depășirea celui de al 10 000 impuls.

Diferitele măsurări se fac la timpuri constante. Spre exemplu, dacă într-un program de încercări 10 rotații ale contorului de verificat corespund pentru 10 A, atunci pentru 20 A corespund 20 rotații. Este necesar de a păstra constant raportul numărului de rotații față de intensitatea curentului și în acest caz cînd contorul de verificat este exact, contorul etalon va efectua 10 rotații, indiferent de sarcina aplicată.

În stația PJUY 50, transformatoarele etalon de curent cu raport variabil, permit de a adapta constanta aparentă a etalonului astfel încît pentru fiecare curent și pentru fiecare număr de rotații care-i corespund, contorul etalon emite exact 10 000 impulsuri, dacă contorul de verificat este exact. Numărul de impulsuri peste 10 000 reprezintă eroarea negativă a contorului, iar numărul de impulsuri sub 10 000 reprezintă eroarea pozitivă.

Pentru ca încercările la cos $\varphi = 0{,}5$ să nu dureze mai mult decît la cos $\varphi = 1$, măsurarea este efectuată automat pentru un număr de rotații pe jumătate pentru contorul de verificat. În acest caz, un multiplicator electronic permite dublarea impulsurilor contorului etalon pentru a conduce la numărul de impulsuri 10 000.

4.3.14. *Stand automat pentru încercarea contoarelor cu calculator numeric—SIEMENS*

În ultimul timp s-au obținut mari progrese prin folosirea calculatorului electronic numeric la încercarea contoarelor. Introducerea unui calculator prezintă printre altele avantajul că pot fi încercate în același timp mai multe con-

toare prin metoda rapidă a comparării cu un etalon. Acest procedeu pentru standurile de încercare clasice, este adecvat practic numai pentru încercările singulare ale contoarelor electrice. Calculatorul permite reglarea simultană a programului încercării, calcularea obiectivă a erorilor contoarelor și valorificarea lor, precum și afișarea rezultatelor încercărilor.

În cele ce urmează este descrisă instalația automată pentru verificarea contoarelor realizată la firma Siemens, cu calculator tip 101.

Descrierea instalației. Se pot încerca în același timp 20 contoare mono sau trifazate cu curentul nominal de 5 A, 10 A sau 15 A (curent limită 60 A) după metoda comparației. Este programată pentru următoarele probe:

— sensibilitate;
— precizia la diferite sarcini;
— verificarea mecanismului integrator.

Instalația este formată din următoarele părți:

— partea de alimentare și reglare;
— calculatorul;
— două mese cu dispozitive de explorare fotoelectrice
— două teleimprimatoare.

Atît partea de alimentare și reglare cît și calculatoru sînt executate în forma uzuală de dulapuri.

Partea de alimentare și reglare. Partea de alimentare și reglare conține transformatoarele de rețea, transformatoarele de măsură de tensiune și de curent, cîte un instrument de măsură pentru tensiune, curent și putere pe fiecare fază, precum și elementele pentru cuplarea și reglarea instalației. În afară de acestea sînt incluse un contor universal electronic de impulsuri, un cronometru și un integrator etalon pentru încercarea integratoarelor contoarelor.

Ca etalon, la probele de sensibilitate și erori se folosește un contor electronic EGZ. Acest contor nu are părți în mișcare. El are trei sisteme și se poate folosi pentru verificarea contoarelor mono și trifazate.

Contorul EGZ este plasat în secundarul transformatoarelor de măsură de precizie pentru curent și tensiune și este alimentat permanent, pentru toate încercările, cu aceleași valori ale tensiunii și curentului de 120 V și 5 A—50 Hz

(metoda încercării la aceeași sarcină). Eroarea contorului EGZ, pentru toate valorile nominale și cos $\varphi = 1$ este mai mică decît 0,1%. Rezultatul măsurării este afișat numeric; frecvența impulsurilor la ieșire este proporțională cu puterea activă măsurată.

Sînt folosite următoarele frecvențe ale impulsurilor la măsurarea valorilor nominale cu cos $\varphi = 1$:

— la măsurările monofazate — 300 Hz;

— la măsurările trifazate — 900 Hz.

Numărul total de impulsuri emise în timpul măsurării este o măsură a energiei (1 impuls = 2 Ws).

Cu contorul universal electronic se măsoară frecvența impulsurilor emise de contorul EGZ.

Pentru încercarea mecanismului integrator sînt prevăzute cîte un numărător de precizie, pentru măsurări monofazate și trifazate, drept etalon. Transformatoarele de măsură de curent de precizie au pentru verificarea preciziei și integratorului, 16 prize de la 0,25 A la 60 A. Pentru proba de sensibilitate se folosesc în plus domeniile 0,025 A; 0,05A și 0,075 A. Alegerea domeniului de curent se face prin apăsarea manuală pe o claviatură. Curentul ales se reglează automat cu ajutorul unor regulatoare acționate prin motoare. Pentru reglarea factorului de putere sînt folosite, în locul decalatoarelor de fază obișnuite, transformatoare de fază montate în circuitul de tensiune, care permit o conectare directă de la cos $\varphi = 1$ la cos $\varphi = 0,5$. Cele trei wattmetre de precizie se conectează în circuitul secundar al transformatoarelor de măsură. Pentru măsurarea timpului poate fi folosit contorul universal electronic.

Calculatorul. Instalația conține un calculator Siemens 101 echipat cu o unitate de afișaj numeric cu 9 poziții și un transformator de nivel pentru semnalele ce vin de la aparatele de explorare fotoelectrice. Calculatorul este format din unitatea centrală, memoria de lucru (4 096 cuvinte), memoria microprogram (2 048 comenzi), memoria macroprogram (4 096 comenzi), o unitate de intrare și una de ieșire.

Memoria de lucru este construită cu miez magnetic (timpul unui ciclu cca 10 μs). În ea se depozitează informațiile care intră și ies din instalație sau teleimprimatoare. Prin

microprogram este organizat calculatorul zecimal, astfel încît să poată calcula 14 poziții. Programul de încercare este înmagazinat în macroprogram.

Atît micro, cît și macroprogramul sînt executate astfel încît programul nu este sensibil la manevrarea greșită sau lipsa tensiunii. De aceea nu este necesară o instruire deosebită a personalului de serviciu. Schimbul de date între calculator și instalație (teleimprimator, contor EGZ, aparatul de explorare, indicatorul cifric și claviatura zecimală de pe mesele de încercare) are loc prin unitatea de intrare/ieșire.

Panoul de serviciu conține claviaturile necesare pentru alegerea diferitelor puncte ale programului de încercare.

Toate clapele sînt prevăzute cu lămpi de semnalizare pentru a putea cunoaște operația efectuată de instalație în orice moment.

Unitatea de afișaj numeric cu 9 poziții este comandată de calculator prin unitatea de intrare/ieșire. Ea servește în special pentru controlul unor date înainte de transmiterea în memoria de lucru, cum sînt numărul de contoare, indexul inițial și final al mecanismului integrator al contorului etc. În afară de aceasta, mai sînt indicate: a) la controlul reglării contoarelor, locul contorului care nu este încă corect ajustat și b) la verificarea preciziei, frecvența impulsurilor contorului EGZ, care este indicată pînă cînd este atinsă valoarea stabilită cu o precizie de $\pm 3\%$, după atingerea căruia este admisă măsurarea de către calculator.

Explorare — mese de încercare. La proba de sensibilitate și verificarea preciziei, marcajele de pe discul contoarelor de încercat sînt explorate fotoelectric. Se presupune că pentru o verificare corectă marcajul de pe disc declanșează singur un impuls. Impulsuri false, care pot fi declanșate de exemplu de impuritățile discului, conduc la rezultate false ale încercării și trebuie pe cît posibil să fie excluse. Pentru încercarea automată a contoarelor au fost prevăzute noi aparate de explorare, cu posibilități de reglare rapidă și fină pe orizontală și verticală. Poziția corectă poate fi stabilită cu ajutorul unui instrument de măsurat inclus pentru domeniul de măsură și cu o lampă indicatoare de impulsuri.

2 × 5 aparate de explorare mobile sînt așezate pe fiecare din cele două cadre, care au fost astfel reglate, încît etajerele cu contoarele de verificat să poată fi explorate pe ambele părți. Mesele de încercare conțin și claviaturile care permit controlorului să noteze diverse numere direct de pe contoare, ca numărul contorului și indicațiile mecanismului integrator pentru a fi introduse rapid și comod în calculator. Într-una din mese este inclusă alimentarea stabilizată a tuturor aparatelor de explorare.

Teleimprimatoarele. Pentru întocmirea buletinelor de încercare sau verificare pentru 10 contoare se întrebuințează două teleimprimatoare cu perforator și culegător. În perforator pot fi înmagazinate în 5 canale de cartele perforate informațiile recepționate de instalație. Dacă este necesar, buletinul de încercare cu aceste cartele perforate poate fi multiplicat ulterior prin culegătorul anexă. Teleimprimatoarele sînt prevăzute cu benzi în două culori, cu dispozitiv de supraveghere a hîrtiei și dispozitiv pentru formulare.

Mersul încercărilor. Înainte de începerea încercărilor, se introduc în memoria de lucru a calculatorului următoarele date variabile, printr-unul din cele două teleimprimatoare de mînă sau prin cartele perforate pregătite dinainte :

— seria ;
— tipul contorului ;
— curentul nominal și curentul limită al contorului ;
— constanta contorului ;
— viteza discului contorului de verificat dorită pentru probele de erori în funcție de punctul de verificat din curba de sarcină.

Pentru o nouă serie de contoare de același tip, datele rămîn valabile printr-o simplă apăsare pe un anumit buton. La schimbarea tipului contorului este necesar ca mai întîi să se modifice datele introduse în memoria de lucru.

Punctele de încercare programate pot fi alese în orice ordine. În general mersul încercării este următorul :

— control prin impulsuri la 50% I_n (prin aceasta se stabilește dacă contoarele sînt bine reglate și dacă aparatele de explorare dau impulsuri corecte) ;
— verificarea sensibilității (0,5% I_n) ;
— verificarea preciziei la sarcinile prevăzute, de la 5% I_n pînă la I_{lim}.

La controlul cu impulsuri, precum și la verificarea sensibilității sînt întrebuințate impulsurile date de contorul EGZ și de aparatele de explorare comandate de marcajele de pe discuri. Aceste impulsuri sînt despărțite pentru fiecare contor în memoria de lucru, sînt înmagazinate și comparate cu valoarea prescrisă aflată din datele contorului introduse în calculator. Prin evaluarea diferenței, calculatorul stabilește dacă contoarele sînt ajustate corect. După cum s-a mai amintit, numerele contoarelor care nu sînt încă corect reglate, pot fi citite pe indicatorul optic din dulapul calculatorului. Aceste indicații pot fi stinse prin acționarea clapelor de pe mesele cu clape.

Erorile fiecărui contor sînt calculate de calculator după formula

$$\varepsilon\% = \frac{S-I}{I}\,100\%,$$

în care : I este valoarea reală a impulsurilor date de contorul EGZ în timpul efectuării celor $n + 1$ rotații ale aparatelor de explorare (n = numărul de rotații stabilite pentru discul contorului de încercat), iar S este valoarea nominală de referință.

La verificarea mecanismului integrator este ales numărul de impulsuri corespunzătoare puterii dorite (exemplu 2 kWh). În continuare sînt introduse în calculator valoarea de referință a energiei (spre exemplu 200 impulsuri) și starea (numărul) inițială a mecanismului integrator prin clapele de pe mese. După terminarea verificării se deconectează alimentarea cu energie a stativului de contoare. Se introduce manual în calculator starea finală a mecanismului integrator. Erorile probei se calculează cu formula

$$\varepsilon\% = \frac{I-S}{S}\,100\%.$$

Rezultatele încercărilor sînt imprimate automat de către teleimprimator. Valorile erorilor care se află în afara limitelor prescrise apar imprimate cu roșu.

Supravegherea și exploatarea instalației. Pentru deservirea instalației este necesară numai o persoană care conduce încercările de precizie și încercarea mecanismului integrator.

Montarea și demontarea stativelor cu contoare, încercarea de mers în gol și de sensibilitate, precum și montarea sigiliilor sînt executate de o altă persoană.

În cursul unei zile de lucru de 8 ore, pot fi încercate cu acest personal 8 serii de contoare cu 4 fire și 10 serii de contoare cu 2 fire.

Corectitudinea măsurilor este supravegheată prin următoarele măsuri:

— calculatorul lucrează numai atunci cînd frecvența impulsurilor date de contorul EGZ nu depășește cu ± 3% frecvența de referință; în acest fel este garantată reglarea corectă a punctului de încercare în sarcină;

— folosirea a două etaloane și chiar a două contoare EGZ pentru încercarea preciziei;

— încercări de control lunare cu contoare de precizie.

4.3.15. *Stația „CALIGYR 6001" pentru etalonarea prin impulsuri a contoarelor trifazate*

Stația Caligyr 6001 (fig. 4.35) realizată de firma Landis și Gyr corespunde exigențelor actuale pentru o stație de etalonare semiautomată.

Stația este dotată cu următoarele:

— un contor etalon emițător de impulsuri de înaltă precizie tip TVQ 3.3 pentru energie activă, cu două capete de lectură, unul emițînd 1 500 și al doilea un impuls la o rotație;

— posibilitatea de conectare a contorului etalon cu un defazaj de 90° pentru etalonarea contoarelor de energie reactivă în conectare artificială;

— un dispozitiv de defazaj electronic pentru verificarea contoarelor de energie reactivă în conectare normală.

Metodele de etalonare sînt următoarele:

— etalonarea individuală prin comparare de impulsuri și indicarea valorii măsurate printr-un dispozitiv electronic;

— etalonarea în serie prin comparare de impulsuri și comandă directă prin contorul etalon;

— etalonarea serie prin contor pilot.

Stația are posibilitatea de a comuta curentul în 18 trepte de la 0,1 A la 100 A și tensiunea în două trepte $3 \times 57{,}7/100$ V

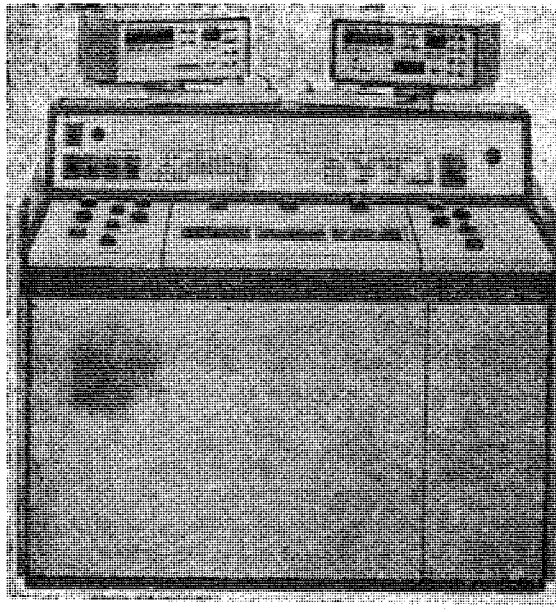


Fig. 4.35. Staţia Landis § Gyr tip Caligyr 6001 pentru verificarea contoarelor trifazate.

şi 3 × 220 V/380 V. Fiecare treaptă de curent se poate regla individual, pe fiecare fază de la 0 la 120%. Fiecare treaptă de tensiune se poate regla de asemenea pe fiecare fază ± 15% în jurul valorii nominale.

Staţia este prevăzută cu un decalator de fază de 3 × 600 VA comandat de un servomotor.

4.3.16. *Staţia de etalonat contoare tip PRECIGYR fabricată de firma LANDIS şi GYR*

Staţia tip Precigyr este destinată etalonării individuale a contoarelor de precizie avînd o eroare generală de ± 0,1% (fig. 4.36).

Pentru aceasta, metoda timp-putere este cea mai raţională. Puterea este reglată cu ajutorul wattmetrelor de precizie şi menţinută constantă prin intermediul unui stabilizator.

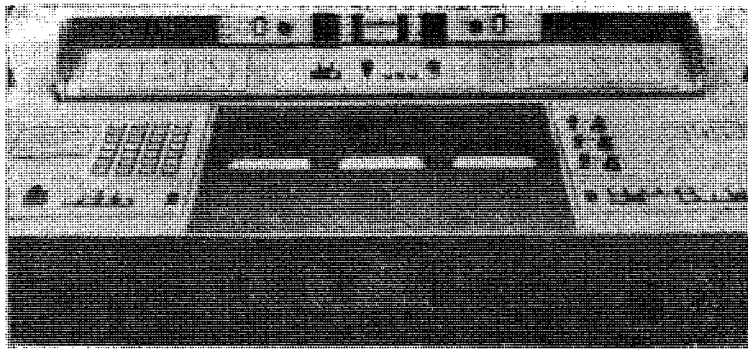


Fig. 4.36. Stația Landis § Gyr — tip Precigyr.

Un dispozitiv electronic adițional numără rotațiile contorului de verificat și baza de timp încorporată în stație (oscilator cu cuarț) indică timpul efectiv.

Pentru etalonarea serie, cu ajutorul unui contor pilot etalonat în prealabil, se întrebuințează metoda comparației de rotații. Închiderea și deschiderea contactoarelor de alimentare a circuitelor poate fi comandată manual sau automat, prin intermediul dispozitivelor de numărare.

Constructiv, stația „Precigyr" este concepută după principiul elementelor bloc, se compune din sertare și module. Circuitele de curent și tensiune sînt plasate fiecare în cîte un sertar pe șine glisante. Modulele și sertarele sînt grupate în elemente funcționale, legate între ele cu ajutorul prizelor multipolare. Ele pot fi extrase și sînt ușor accesibile pentru control și revizie.

Corectarea erorii transformatoarelor de curent la stația „Precigyr". Pentru corectarea erorilor de transformare și de unghi ale transformatoarelor de curent utilizate în stația Precigyr se folosește schema ilustrată în figura 4.37. Transformatoarele de corecție *2* și *3* sînt conectate în serie cu bobina de curent *1* a wattmetrului. Transformatorul *2* este conectat în primar pe priza corespunzătoare aparației curentului secundar ΔI_2 pentru corectarea erorii de transformare. Curentul ΔI_3 defazat la 90° față de I_1 prin condensatorul *5*, poate fi reglat cu ajutorul rezistenței variabile *4*. Curentul I_4 care străbate bobina *1* a wattmetrului, corectat în valoare absolută și fază, este suma curenților I_1, ΔI_2 și ΔI_3.

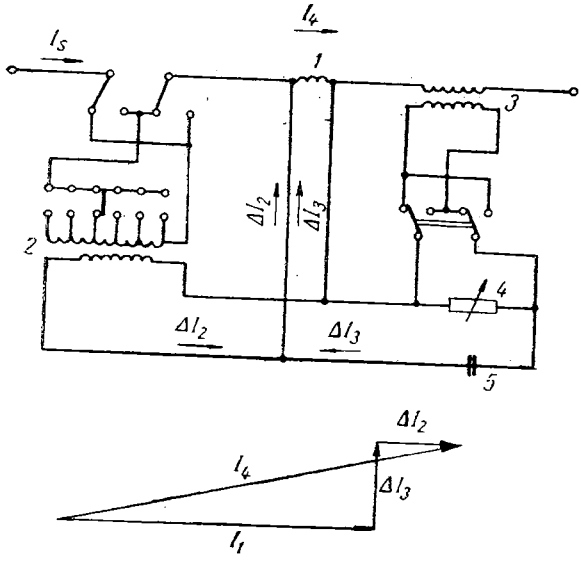


Fig. 4.37. Schema de principiu pentru corectarea erorilor transformatoarelor de curent.

Contor etalon emițător de impulsuri tip TVQ 3.3. Acest contor, fabricat de firma Landis și Gyr cu trei sisteme motoare de înaltă precizie, este construit pentru a fi folosit în metoda de etalonare prin compararea impulsurilor. Fiecare sistem motor acționează cîte un disc. Dispunerea lor perfect simetrică contribuie la precizia contorului. La măsurările cu sarcini neechilibrate, bobinele de curent declanșate sînt preîncălzite de o tensiune continuă de 24 V pentru a reduce la minim erorile datorate încălzirii.

Un disc suplimentar montat pe rotor împreună cu două capete de lectură fotoelectrice debitează :

— 1 500 impulsuri pe rotații, cu un sistem optic special, pentru etalonarea individuală ;

— 1 impuls pe rotație, pentru încercările de durată și controlul contorului cu wattmetrele încorporate în stație.

Eroarea contorului tip TVQ 3.3 este cuprinsă între limitele $\pm 0{,}15\%$.

Contoare etalon de precizie. Contoarele etalon fabricate de Landis și Gyr se execută numai cu două sau trei sisteme în scopul de a se obține un cuplu motor suficient pentru a asigura o măsurare precisă la sarcină mică. De aceea, contoarele etalon folosite pentru rețele monofazate au două bobine de tensiune conectate în paralel și două bobine de curent în serie. Contoarele etalon de precizie sînt prevăzute cu două dispozitive de compensare a temperaturii. Primul acționează asupra fluxului de frînare. Al doilea acționează asupra fluxului motor de tensiune și este constituit dintr-o înfășurare în scurtcircuit montată pe contrapolul circuitului magnetic de tensiune și racordat la o punte de aliaj compensator. Acest procedeu permite de a corecta ercarea de unghi între fluxul motor de tensiune și de curent și de a obține un bun coeficient de temperatură.

Datorită magneților de frînare cu o mare forță coercitivă, contorul etalon de precizie ridicată este practic insensibil influențelor externe.

Echipajul mobil, din aliaj de aluminiu, este foarte ușor ; discurile au o grosime de 0,5 mm, solicitînd foarte puțin palierul inferior.

Contoarele etalon de precizie de energie activă se execută pentru o singură tensiune și una sau două valori de curent.

Indicator numeric al erorii contoarelor tip TVK 1. Indicatorul numeric tip TVK1 fabricat de firma Landis și Gyr permite o etalonare individuală rapidă și precisă. Eroarea este calculată automat după fiecare măsurare și afișată sub formă numerică. Acest aparat tranzistorizat poate fi utilizat cu toate tipurile de stații de etalonare. Pentru stațiile care lucrează după metoda comparației, este necesar un contor emițător de impulsuri.

Indicatorul TVK1 prezintă următoarele proprietăți :

— calculul automat al erorii ;

— indicarea mărimii și sensului erorii imediat la sfîrșitul măsurării ;

— două rînduri de preselectări, independente unul de altul, permite pregătirea aparatului pentru măsurarea diverselor puncte ale curbei de încărcare a contoarelor ;

— un etaj demultiplicator de impulsuri permite efectuarea măsurărilor la cos $\varphi = 1$ și cos $\varphi = 0{,}5$ fără schimbarea poziției preselectoarelor;

— baza de timp (oscilator cu cuarț) permite etalonarea după metoda timp-putere.

Transformatorul de sarcină tip TVT3. Transformatoarele de sarcină sînt folosite de întreprinderile de distribuție a energiei electrice, care sînt adesea obligate de a controla pe teren exactitatea contoarelor.

Un astfel de control nu este posibil decît cu ajutorul unui aparat capabil de a furniza o sarcină determinată, care să se aplice contorului. Transformatoarele de sarcină permit măsurarea corectitudinii contoarelor de energie activă și reactivă.

Transformatorul de sarcină împreună cu un contor etalon formează împreună o stație de control și de încercare ușor de transportat. Racordarea transformatorului de sarcină cu contorul etalon și contorul de verificat la rețea se execută conform schemei anexate transformatorului.

Transformatorul tip TVT3 (fig. 4.38) permite verificarea contoarelor de energie activă cu un singur sistem motor (monofazate). Pentru contoarele cu două sau trei elemente motoare, sistemele sînt controlate unul după altul.

Transformatorul de sarcină TVT3 se alimentează la rețeaua trifazată cu trei sau patru fire, conectîndu-se pe valoarea tensiunii rețelei cu ajutorul unui comutator *4*. Tensiunea rețelei poate varia cu $\pm$ 10% față de valoarea nominală, fără a influența măsurarea. Corecta conectare a fazelor este indicată de un indicator al succesiunilor fazelor *12*. Cu ajutorul unui comutator *10* se alege valoarea curentului nominal. Încărcarea parțială dorită se reglează cu ajutorul unui selector *6*. Un comutator *3* permite punerea curentului de etalonare în fază cu tensiunea (cos $\varphi = 1$) sau de a-l defaza cu 60° în urmă (cos $\varphi = 0{,}5$). Dacă transformatorul de sarcină este racordat la o rețea monofazată, măsurările nu pot fi efectuate decît pentru cos $\varphi = 1$.

Transformatorul de sarcină trifazat tip TVT2.1 dă un curent de etalonare ce poate fi reglat în mod continuu între 0,05 A și 5 A, cu ajutorul a trei potențiometre care permit reglajul curentului independent pe fiecare fază. Pe fiecare fază se află cîte un ampermetru cu game de 1 A și 5 A.

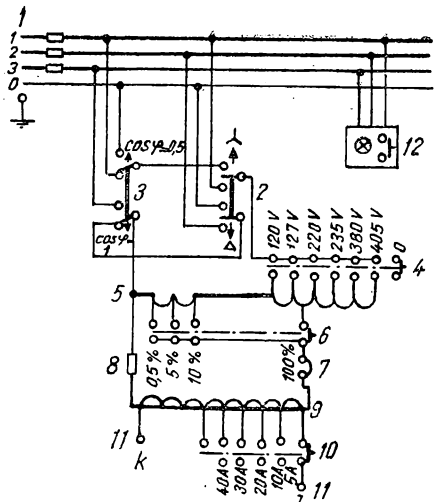


Fig. 4.38. Schema electrică a transformatorului de sarcină Landis § Gyr tip TVT3 :

1 — schema de legare la rețea ; *2* — comutator pentru schimbarea legăturilor înfășurării primare la diferite faze ; *3* — comutator pentru modificarea cos φ ; *4* — comutator pentru reglarea tensiunii aplicată înfășurării primare a transformatorului ; *5* — transformator de tensiune ; *6* — comutator pentru reglarea tensiunii secundare a transformatorului ; *7* — întreruptor tip fișă de scurtcircuit ; *8* — rezistență de sarcină ; *9* — transformator de curent ; *10* — comutator de reglare a curentului nominal din secundarul transformatorului de curent ; *11* — borne de ieșire ; *12* — indicator de succesiune a fazelor.

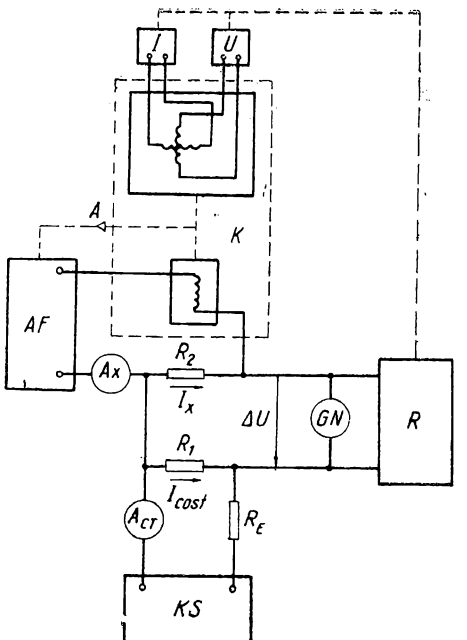


Fig. 4.39. Schema de principiu a comparatorului GOERZ cu autocompensare pentru verificarea contoarelor :

k — comparator ; **KS** — sursă de curent constant ; *R* — regulator ; *AF* — amplificator fotoelectric ; R_1 și R_2 — rezistența de precizie ; *A* — derivație pentru fotocelulă ; *GN* — galvanometru de nul ; A_x, A_{ct} — ampermetre.

4.3.17. *Comparatorul GOERZ cu autocompensare pentru verificarea contoarelor*

În fig. 4.39 este arătat principiul de funcționare al comparatoarelor cu autocompensare.

Reglarea automată a puterii de alimentare a contoarelor de verificat se face cu ajutorul regulatorului R comandat în curent continuu. În circuitul de ieșire al comparatorului se află rezistența de precizie R_2 parcursă de curentul continuu de compensație I_x și care produce o cădere de tensiune $I_x R_2$. Curentul I_{ct}, furnizat de sursa KS de curent constant, produce în rezistența de precizie R_1 o cădere de tensiune $I_{ct} R_1$. Diferența de tensiune $\Delta U = I_x \cdot R_2 - I_{ct} \cdot R_1$ indică abaterea puterii în curent alternativ de la valoarea prescrisă. Valoarea prescrisă poate fi modificată prin reglarea rezistenței R_1. Diferența de tensiune ΔU se măsoară cu un galvanometru, iar puterea de intrare se reglează astfel încît galvanometrul să indice zero.

Avantajul acestei instalații de măsurare constă în faptul că în locul citirii unui wattmetru se face reglarea unui galvanometru la zero. Avantajul acestei metode este mai evident la măsurarea puterii trifazate, unde în locul citirii a două sau trei aparate se poate utiliza un singur galvanometru.

Precizia metodei depinde de stabilitatea sursei de curent constant, de precizia rezistențelor și de stabilitatea constantei de transfer. Stabilitatea sursei de curent poate fi realizată mai bună decît 0,01%. Rezistențele de precizie se pot confecționa cu o stabilitate și o precizie suficientă. Stabilitatea constantei de transfer se verifică și se reglează în permanență.

În fig. 4.40 se indică schema de principiu a unui regulator de putere pentru etalonarea contoarelor trifazate. Instalația se compune din trei comparatoare cu transformatoarele de curent și rezistențele respective, sursa de curent constant, iar în locul galvanometrului de zero se poate lega o instalație de reglare a puterii, care influențează puterea măsurată astfel încît diferența de tensiune ΔU să fie practic nulă. Datorită utilizării instalației de reglare a puterii, etalonarea contoarelor se reduce la o simplă măsurare de timp, puterea fiind menținută constantă cu o precizie mai mare de 0,05%.

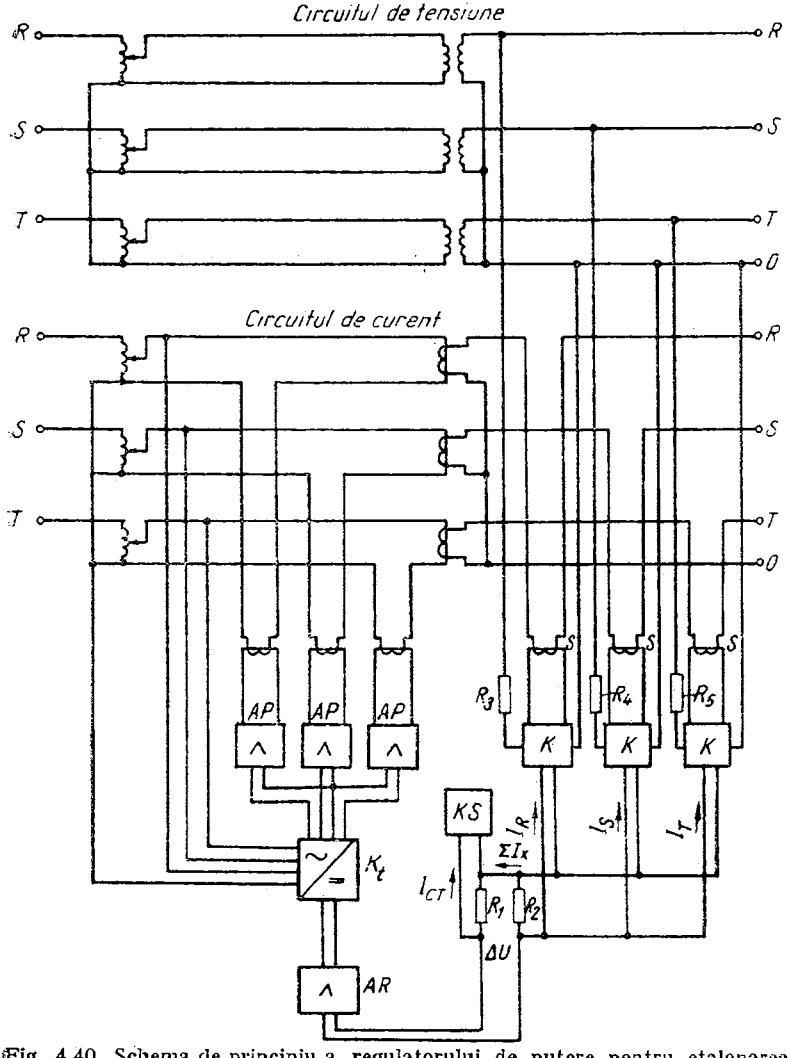


Fig. 4.40. Schema de principiu a regulatorului de putere pentru etalonarea contoarelor trifazate tip GOERZ:

AP — amplificator de putere ; *AR* — amplificator de reglare ; *Kt* — convertizor ; *K* — sursă de curent continuu stabilizată ; *K* — comparator cu autocompensație ; *S* — transformator de curent de precizie ; $R_1 \ldots R_5$ — rezistențe de precizie.

4.3.18. *Stațiile de verificat contoare fabricate de firma FERRANTI PACKARD*

Firma Ferranti Packard-Canada fabrică de asemenea stații de verificat contoare, bazate pe utilizarea unui contor etalon emițător de impulsuri. Discul contorului etalon are marginea crestată în 500 părți egale, care este explorată fotoelectric producînd 500 de impulsuri la o rotație a discului. Aceste impulsuri sînt introduse într-un dispozitiv electronic care le amplifică și le convertește astfel încît, atît partea crescătoare cît și partea căzătoare a fiecărui impuls, să fie convertite în cîte un impuls unidirecțional. În felul acesta se emit cîte 1 000 impulsuri la fiecare rotație a discului. Funcționarea stației este astfel aranjată ca numărătoarea impulsurilor să se facă în momentul în care atît contorul etalon, cît și contorul de verificat au atins o viteză stabilă. De asemenea, numărătoarea se sfîrșește în timp ce contoarele încă funcționează, fiind eliminate astfel erorile datorită inerției la pornire și oprire.

Discul contorului de verificat este iluminat printr-o sursă plasată deasupra contorului și focalizată pe găurile de frînare la mersul în gol din disc. Sub contor se află o celulă fotoelectrică care captează lumina. La fiecare trecere a găurilor prin dreptul fasciculului se emite cîte un impuls.

O rotație a discului contorului de încercare produce trei impulsuri datorită celor două găuri de frînare diametral opuse. Primul impuls comandă începerea numărării impulsurilor emise de contorul etalon, al doilea este ignorat, iar al treilea impuls întrerupe numărarea.

Sistemul de afișare este compus din patru cifre respectiv sute, zeci, unități și zecimi de unități. La începutul numărării se afișează numărul 200,0 corespunzător a 2 000 impulsuri. În timpul măsurării, se scade numărul de impulsuri emise de contorul etalon din numărul 2 000. Dacă contorul de verificat are eroarea zero, atunci se vor emite 1 000 impulsuri și sistemul de afișare va indica numărul 2 000 — 1 000 = 100,0%. Dacă contorul de încercat are o eroare și se înregistrează spre exemplu 998 impulsuri, atunci se va afișa numărul 2 000 — — 998 = 100,2%. Dacă contorul are o eroare de semn con-

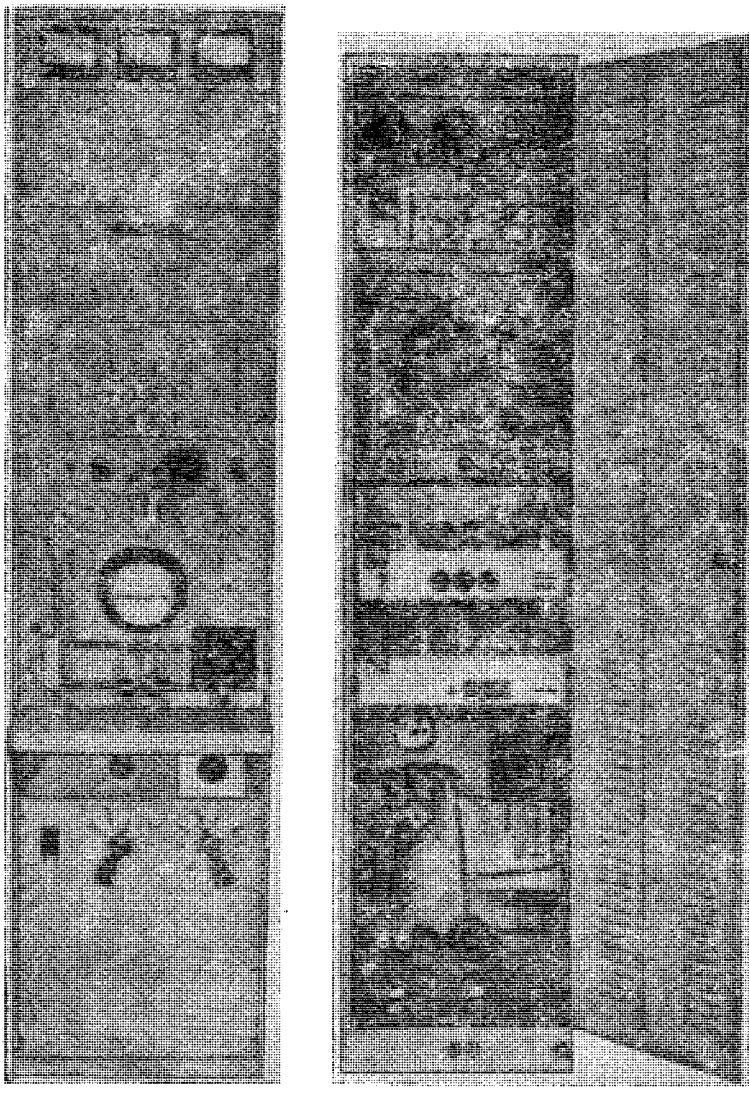


Fig. 4.41. Stația de etalonat și verificat contoare Ferranti-Packard.

trar și se înregistrează spre exemplu 1 003 impulsuri, atunci sistemul de afișare va indica 2 000 — 1 003 = 0,99,7%.

În fig. 4.41 este prezentată fotografia stației realizată de firma Ferranti Packard.

4.3.19. *Instalație DUNCAN pentru etalonarea contoarelor prin calculatoare*

Pentru a fi în pas cu cererile industriei privind contoare de energie electrică etalonate cu mai multă precizie, societatea Duncan Electric Company din Indianna — S.U.A. a realizat un sistem de etalonare automată a contoarelor monofazate. Construcția modulară și programarea prin calculator cu memorizare asigură îndeplinirea nevoilor în continuă modificare a beneficiarilor.

Se utilizează două stelaje de prindere a contoarelor, fiecare cu cîte 16 locuri (fig. 4.42). Operatorul scoate contoarele etalonate de pe un stelaj și le înlocuiește cu contoare pretalonate, în timp ce contoarele de pe celălalt stelaj sînt încer-

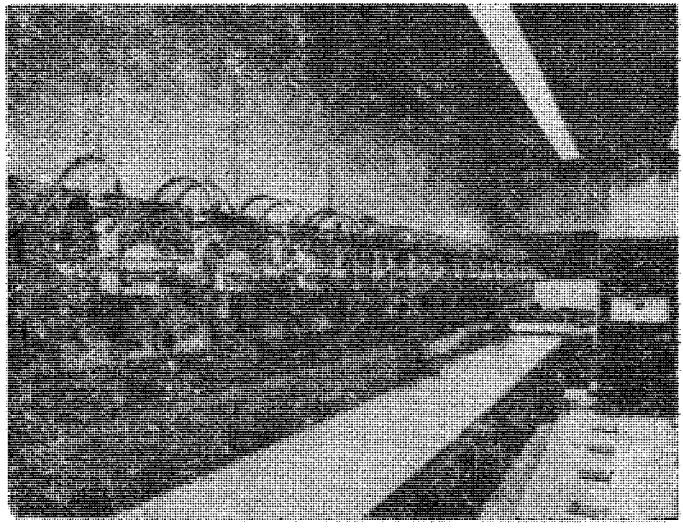


Fig. 4.42. Panoul de prindere a contoarelor la stația Duncan.

cate și etalonate. Fiecare stelaj are sursa sa de alimentare. Tensiunea și unghiul de fază sînt comandate prin circuite detectoare de erori, iar curentul este sub comanda calculatorului. Toate cele trei mărimi sînt reglate cu ajutorul unor autotransformatoare variabile cu comandă pas cu pas acționate cu cîte un servomotor. Calculatorul poate să selecționeze tensiunea la valoarea nominală U_n sau 0,1 U_n, precum și factorul de putere 1 sau 0,5 inductiv. Gama curenților este selecționată de calculator pe baza unui cod cu patru linii, făcînd posibile 16 valori distincte.

Fiecare loc de etalonare are o linie de intrare la calculator cu impulsuri de măsurare. O sursă luminoasă și o fotorezistență sînt utilizate pentru depistarea trecerii marcajului. Un circuit în serie semnalizează la calculator faptul că fălcile de prindere sînt închise la toate pozițiile de pe stelaj. Fiecare stație are șase circuite care comandă două motoare pas cu pas. Trei circuite comandă motorul de reglare la sarcină plină și trei circuite comandă motorul de reglare la sarcină mică. Sînt necesare trei circuite pentru comanda *înainte*, *înapoi* și *stop*. Fiecare stație are cît o linie de intrare la calculator, precum și liniile de acceptare și de respingere a contoarelor de la calculator care aprind semnalizările verzi sau roșii de la locurile contoarelor. Lumina verde activează și circuitul de deblocare al fălcilor de prindere.

Contorul etalon este un contor electronic de tipul celor utilizate la etalonarea contoarelor rotative la precizii de $\pm 0{,}05\%$.

O instalație intermediară cu 4 000 date de comandă (fig. 4.43) manipulează transferul datelor între stelaje și calculator și între panoul de comandă al operatorului și calculator. Instalația intermediară conține și un detector de proastă funcționare, care semnalizează pe panoul de comandă al operatorului (fig. 4.44), în caz că se defectează calculatorul.

Sistemul este comandat de un calculator numeric (fig. 4.45) cu 160 date de comandă. Acest calculator este programat a efectua toate încercările la majoritatea tipurilor de contoare monofazate ale firmei Duncan.

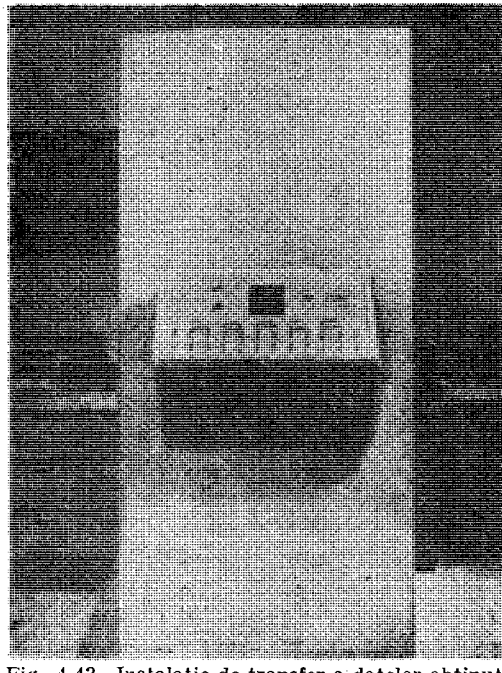


Fig. 4.43. Instalaţie de transfer a datelor obţinute la verificare.

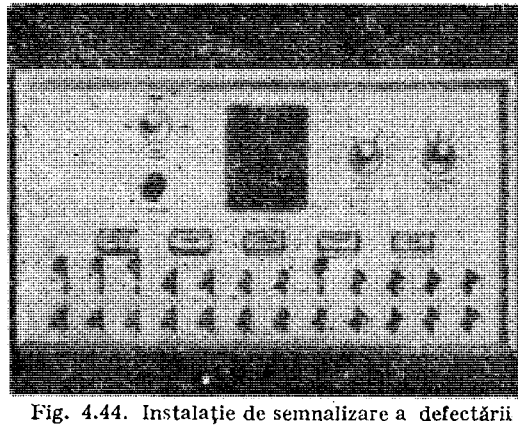


Fig. 4.44. Instalaţie de semnalizare a defectării calculatorului.

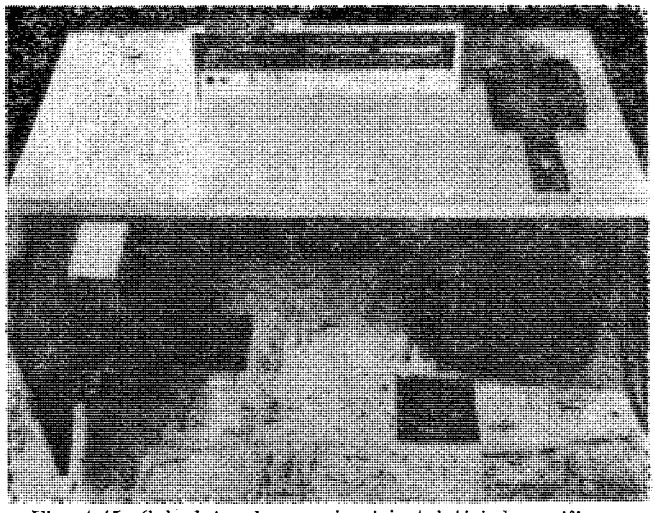


Fig. 4.45. Calculatorul numeric al instalației de verificare.

Funcționarea. Toate încercările se efectuează în timp ce discul contorului se învîrtește continuu ; ajustările la plină sarcină și sarcină mică se fac fără intervenția operatorului. Calculatorul ține cont de interacțiunea celor două ajustări. În timpul efectuării încercărilor, punctul de încercare (sarcina) este controlat pentru a se asigura că nu se produce o variație mare. Deși ajustările corespunzătoare factorului de putere diferit de unitate nu se fac pe acest sistem, înregistrarea corectă a contoarelor la sarcini cu factor de putere inductiv este asigurată prin încercări în funcționare, urmărindu-se efectuarea respectivului reglaj. La sfîrșitul unei secvențe de încercări, calculatorul examinează datele fiecărui contor și dacă se încadrează în limitele admise indică aceasta. Ca un ajutor, datele pentru contoarele respinse și pentru cazurile de deranjamente sînt comunicate pe o mașină de scris la ieșire (fig. 4.46).

Calculatorul ordonează operațiile, comandînd instalației intermediare reglările necesare de cuplare, pe care instalația intermediară le memorizează și le execută la momentul potrivit. Aceste reglări sînt transmise la circuitele releelor stelajelor de etalonare, astfel încît să se realizeze regimul dorit.

Fig. 4.46. Sistemul de înregistrare a rezultatelor verificărilor.

Un circuit fotoelectric generează un impuls de tensiune pe un circuit separat de la fiecare contor la instalația intermediară, ori de cîte ori marcajul discului respectivului contor rupe fasciculul de lumină. Instalația intermediară memorează impulsurile și le comunică calculatorului.

La începutul unei etape de încercare, calculatorul explorează panoul de comandă al operatorului pentru a stabili dacă următoarea etapă este posibilă. Dacă etapa următoare nu este posibilă, ea va fi omisă. De exemplu : înainte de a continua cu o nouă etapă, calculatorul verifică să vadă dacă fălcile de prindere sînt închise refuzînd să continue dacă ele nu sînt închise și mesajul transmis prin mașina de scris apare sub forma „fălci deschise". Calculatorul nu continuă încercările pînă cînd operatorul nu apasă pe un anumit buton semnalizînd „încearcă din nou".

Calculatorul determină dacă se poate executa o nouă etapă de încercări și comandă noul regim. La comanda calculatorului se efectuează reglările grosiere și fine ale sarcinii pînă se stabilește sarcina corespunzătoare. Apoi, calculatorul începe să exploreze toate intrările impulsurilor contoarelor.

Calculatorul păstrează calculele de la contorul etalon separat pentru fiecare contor de verificat. Aceste calcule sînt memorate pentru toată încercarea și sînt utilizate la calculul ajustărilor și pentru determinarea contoarelor ce trebuie respinse ca necorespunzătoare.

După fiecare încercare, numărările sînt codificate și pot să fie perforate într-un registrator permanent sau pe bandă de hîrtie.

După ce s-au terminat încercările la plină sarcină și sarcină mică, calculatorul calculează cantitatea necesară de ajustare, inclusiv o toleranță pentru interacțiunea ajustărilor. După executarea ajustărilor se trece la o nouă etapă de încercări, iar hotărîrea „admis", „respins" sau „menținut pentru o nouă încercare" se bazează pe datele pe care le memorează calculatorul.

Fiecare etapă de încercare se execută pe rînd și după terminarea încercărilor, calculatorul cuplează cu celălalt stelaj, pe care între timp l-a pregătit operatorul.

4.3.20. *Contoare etalon electronice*

Contoarele etalon electronice monofazate și trifazate permit etalonarea și verificarea contoarelor de energie activă într-un mod comod și foarte precis.

Utilizarea lor evită folosirea simultană a unei surse stabilizate, a unui aparat de măsurat și a unui cronometru. Măsurarea constă în simpla comparare a energiei măsurate de contorul de verificat și energia afișată de contorul etalon.

Contoarele etalon electronice prezintă următoarele particularități :

— mare precizie de măsurare — clasă 0,1 ;

— insensibilitate la șocuri și vibrații, deoarece elementele de măsură constituite din circuite electrice și electronice nu conțin piese mobile ;

— foarte bună comportare la factorii externi: temperatură, frecvență, poziție, cîmp magnetic etc.;

— punere în funcțiune foarte rapidă;

— performanțe bune în prezența armonicilor de tensiune și curent;

— precizia de măsurare în rețelele trifazate este independentă de dezechilibrul sarcinii;

— consum foarte scăzut al circuitelor de intrare;

— nu există riscul mersului în gol în absența curentului;

— funcționare sigură în condiții de mediu severe, datorită utilizării tranzistorilor cu siliciu și a amplificatoarelor operaționale cu structură integrată;

— afișarea luminoasă a energiei măsurate;

— numeroase posibilități de exploatare a impulsurilor de ieșire cu ajutorul dispozitivelor auxiliare: numărător de rotații cu dispozitiv de lectură; numărător de impulsuri; afișarea directă a erorii; tipărirea erorii etc.

În figura 4.47 este prezentat contorul etalon electronic E31YE realizat de firma Schlumberger din Paris. În fig. 4.48 este prezentat același contor integrat într-un pupitru de etalonare.

Funcționarea unui element monofazat al acestor contoare se bazează pe principiul unei duble modulări: de frecvență proporțională cu tensiunea și de amplitudine proporțională cu curentul. La ieșirea din elementele de măsură ale contorului sînt emise impulsuri de frecvență proporțională cu puterea măsurată.

Contorul trifazat este constituit din trei elemente monofazate care emit impulsuri pe un totalizator static care le adună. Impulsurile emise de totalizator sînt exploatate sub două forme distincte:

— printr-un afișaj de energie pe unul sau mai multe dispozitive integratoare;

— printr-o emisie de impulsuri a căror frecvență este proporțională cu puterea. Ieșirea din elementele de măsură este izolată galvanic și permite, cu numeroase variante, racordarea a diverselor receptoare electronice sau electromecanice.

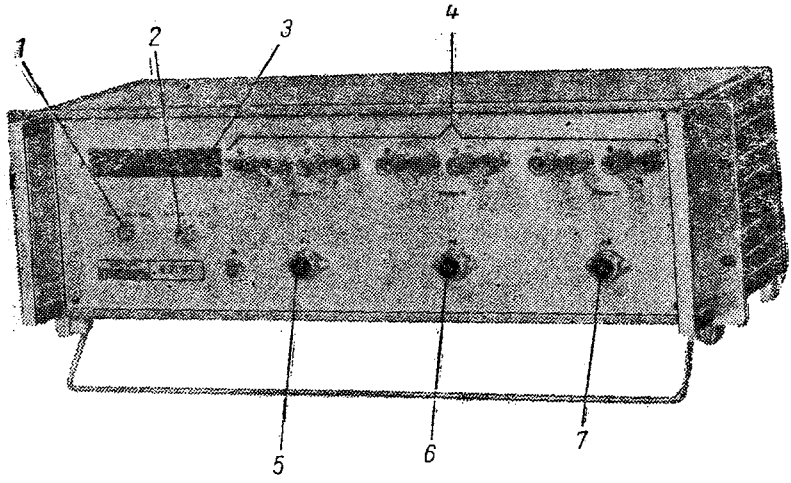


Fig. 4.47. Contorul electronic etalon Schlumberger tip E31YE :
1 — comanda începutului şi sfîrşitului măsurării ; *2* — punerea la zero a afişajului ; 3 — afişajul luminos ; 4 — bornele de tensiune şi curent (fazele *1*, *2* şi 3) ; *5* — ieşire impulsuri (fază *1*) ; *6* — ieşire impulsuri (faza *2*) ; *7* — ieşire impulsuri (faza 3).

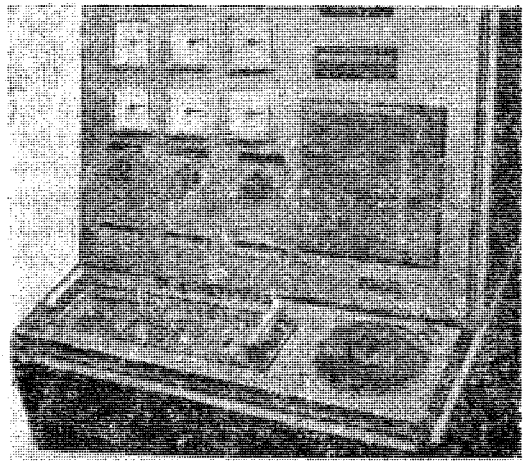


Fig. 4.48. Staţie de etalonare echipată cu contor tip E31YE.

Bibliografie

1. ARUTIUNOV, V.O. *Instrumente și aparate electrice de măsură* (traducere din limba rusă). București, Editura tehnică, 1952.
2. BAIDA, L.I. ș.a. *Curs general de măsurări electrice* (traducere din limba rusă). București, Editura energetică, 1952.
3. TUTOVAN, V. *Introducere în măsurări electrice și magnetice* București. Editura didactică și pedagogică, 1962.
4. THURIN, J. *Mesures électriques et électroniques.* Paris, Ed. Eyrolles 1961.
5. D.G.M.S.I. *Elemente de electrotehnică și de tehnica măsurării mărimilor electrice și magnetice.* București, Editura tehnică, 1959.
6. NEUMAN, H. *Das Messen mit elektrischen Geräten.* Berlin, Springer Verlag, 1960.
7. GOLDING, E și WIDDIS, F. *Electrical measurments and measuring instruments, London,* Isaac Pitman, 1963.
8. PFLIER, P. *Elektrizitätszähler.* Berlin, Springer Verlag, 1951.
9. PFLIER, P. *Elektrische Messegeräte und Messverfahren.* Berlin Springer-Verlag, 1957.
10. KOPĚCEK, J și DVORAK, M. *Transformatoare de măsură* (traducere din limba cehă). București, Editura tehnică 1970.
11. SLAPCIU, G și BOBOC, D. *Organizarea activității metrologice în Uzina Electromagnetica.* În : Metrologia Aplicată nr. 6, 1964.
12. BEAU, E. *Les nouvelles installations de Métrologie éléctrique de L.C.I.E.* În : Revue Générale de l'éléctricité, nr. 9, 1969.
13. POPESCU, P.I. și SLAPCIU, G. *Metode de decalare a fazei tensiunilor și curenților electrici.* În : Electrotehnica, nr. 1, ianuarie 1966.
14. MÜLLER, E. *La construction et l'aménagement des laboratoires.* Principes essentiels. În :Rev. Construction — Franța, nr. 6, 1963.
15. DONDE, I. I. *Structura unui laborator de măsurare la o intreprindere industrială.* În : Rev. Izmeriteenaia tehnika, nr. 4, 1968.
16. KONDRATENKO, V. M. *Metodika opredeleniia nomenklaturi i obiema zapasnih ciastei dlia elektroizmeritelinih priborov.* În : Izmeritelinaia tehnika, nr. 4, 1971.
17. SLAPCIU, G. *Cîteva probleme ridicate de creșterea productivității la operațiile de etalonare și verificare în procesul de fabricație al contoarelor electrice monofazate.* În : Metrologia aplicată, nr. 5, mai, 1964.
18. BOBOC, D și SLAPCIU, G. *Aparat de control universal tip voltampermetru.* În : Metrologia aplicată, nr. 7, iulie 1968.
19. ILIE, P. *Caracteristicile compensatoarelor de curent continuu.* În : Metrologia aplicată, nr. 10, octombrie, 1968.
20. POPESCU, P. I. *Stabilizator semicalibrat de tensiuni alternative pentru etalonarea aparatelor de măsurat.* În : Metrologia aplicată nr. 6, iunie, 1966.
21. ILIE, P. *Considerențe asupra utilajului și metodelor de măsurare a tensiunilor și curenților alternativi.* În : Metrologia aplicată nr. 4 octombrie-decembrie, 1961.
22. BOBOC, D și SLAPCIU, G. *Verificarea contoarelor electrice fabricate în țara noastră,* Stadiul actual, preocupări, perspective. În : Metrologia aplicată, nr. 3, martie, 1970.

23. POPESCU, P. I. şi SLAPCIU, G. *Aparat pentru decalarea fazei curenţilor şi tensiunilor electrice.* Brevet de invenţii nr. 43 103, 1964.

24. POPESCU, P. I. şi SLAPCIU, G. *Metodă şi instalaţie pentru simetrizarea şi decalarea fazelor din reţelele electrice trifazate.* Brevet de invenţie nr. 51 379, 1968.

25. POPESCU, P. I. şi SLAPCIU, G. *Instalaţie pentru simetrizarea şi decalarea fazelor din reţelele electrice trifazate.* Brevet de invenţie nr. 51 424, 1968.

26. MILLEA, A., GRUIA, N., STOICA, A. *„The use of inductive current comparators for precise measurements"* — Acta IMEKO-1964.

27. MILLEA, A., GRUIA, N. *„Instalaţie de înaltă precizie pentru determinarea erorilor transformatoarelor de curent"* — Electrotehnica nr. 5/1969 pag. 189.

28. MILLEA, A., GRUIA, N. *„Instalaţie pentru etalonarea transformatoarelor de curent pînă la 100 A"* — Lucrare Institutul de Metrologie 1964.

29. MILLEA, A., GRUIA, N. *„Instalaţie pentru etalonarea transformatoarelor de curent între 100 A şi 2 000 A"* — Lucrare Institutul de Metrologie 1965.

30. MILLEA, A., GRUIA, N. *„Transformator decadic de tensiune".* — Metrologia aplicată nr. 4/1967 pag. 158.

31. MILLEA, A., GRUIA, N. *„Instalaţie pentru etalonarea transformatoarelor de tensiune pînă la 35 kV"* — Lucrarea Institutul de Metrologie 1967—1969.

32. POPESCU, P. I. — *Lucrări de proiectare a dispozitivelor de etalonat şi verificat aparate electrice de măsurat produse de* Uz. Electromagnetica.

33. BOBOC, D.. SLAPCIU, G. şi POPESCU P. I. *Dispozitiv pentru decalarea fazei tensiunilor şi curenţilor electrici.* Brevet de invenţie nr. 52 702/1970.

34. SLAPCIU, G. şi POPESCU, P.I. *Decalator trifazat de unghi.* Brevet de invenţie nr. 55 925/1971.

35. SLAPCIU, G. şi POPESCU, P. I. *Sur un dephaseur monophasé pour les installations de reglage et de verification des instruments électriquesé de mesure.* L'Energia Elettrica nr. 2/1972.

36. Landis & Gyr. Elveţia *Prospecte.*

37 SIEMENS — Messtechnik R.F.G. — *Prospecte*

38 MANFRED VOLKMAR R.D.G. *Prospecte*

39. FERRANTI — PACKARD Limited — Canada — *Prospecte*

40. SCHLUMBERGER — Compteurs Franţa — *Prospecte*

41. A. I. BEZIKOVICI — *Aparataj pentru verificarea automată a ampermetrelor voltmetrelor şi wattmetrelor în curent continuu.* Izmeritelnaia tehnika nr. 6/1969.

42. BOBOC, D., POPESCU, P.I. şi SLAPCIU. G. — *Dicpozitiv pentru verificarea contoarelor electrice monofazate.* Brevet de invenţie nr. 53 006/1970.

Cuprins

1. **Organizarea laboratorului** 3
1.1. Condiţii **generale** de lucru 3
1.2. Surse de **alimentare** 5
1.2.1. **Surse de** curent continuu 5
1.2.2. Surse de curent alternativ 13
1.3. Elemente de reglaj 15
1.3.1. Reglarea curentului şi tensiunii continue şi alternative monofazate 15
1.3.2. Reglarea tensiunii alternativ, în reţelele polifazate . . 17
1.3.3. Reglarea fazei 18
1.4. Aparate folosite în schemele de măsurare 23
1.4.1. Rezistenţe etalon şi rezistenţe decadice 23
1.4.2. Etaloane de inductivitate proprie şi mutuală . . . 24
1.4.3. Etaloane de capacitate 25
1.4.4. Aparate pentru măsurarea elementelor de circuit . . 26
1.4.5. Osciloscoape catodice 37
1.4.6. Alte aparate folosite în laborator 39
2. **Verificarea aparatelor de măsurat indicatoare** 42
2.1. Clasificarea şi caracteristicile principale ale aparatelor de măsurat indicatoare 42
2.1.1. Criterii de clasificare 42
2.1.2. Principalele date constructive ale aparatelor de măsură indicatoare 43
2.1.3. Caracteristicile aparatelor de măsurat indicatoare . 45
2.2. Metode de verificare a aparatelor electrice indicatoare . . 47
2.2.1. Metoda comparaţiei 47
2.2.2. Metoda compensaţiei 49
2.2.3. Metoda de măsurare directă 51
2.2.4. Metoda divizorului inductiv de tensiune 51
2.3. Cîteva instalaţii realizate pentru verificarea aparatelor de măsurat electrice indicatoare 61
2.3.1. Instalaţii de reglat şi verificat ampermetre electromagnetice 62
2.3.2. Instalaţii de reglat şi verificat voltmetre electromagnetice 62

2.3.3. Stand pentru reglat și verificat șunturi 62
2.3.4. Instalație cu tensiuni predeterminate pentru etalonarea voltmetrelor de curent alternativ. 64
2.3.5. Instalație stabilizată de curent continuu cu valori predeterminate ale curenților 66
2.3.6. Instalație stabilizată de curent continuu cu valori predeterminate de tensiuni 67
2.3.7. Aparataj pentru verificarea automată a ampermetrelor, volmetrelor și a wattmetrelor în curent continuu 68
2.3.8. Instalații de mare productivitate pentru gradarea și verificarea aparatelor de măsurat în curent continuu . 72
2.3.9. Instalație portativă pentru verificarea aparatelor electrice 73
2.3.10. Tipuri de divizoare inductive. 75
3. Verificarea transformatoarelor de măsură 78
3.1. Clasificarea transformatoarelor de măsură 78
3.1.1. Clasificarea transformatoarelor de măsură de tensiune 78
3.1.2. Principalele date constructive ale transformatoarelor de măsură de tensiune 79
3.1.3. Clasificarea transformatoarelor de măsură de curent . 80
3.1.4. Principalele date constructive ale transformatoarelor de măsură de curent 82
3.2. Metode de verificare a transformatoarelor de măsură . . 84
3.2.1. Metode de verificarea funcționării transformatoarelor de măsură de tensiune 84
3.2.2. Metode de verificare a funcționării transformatoarelor de măsură de curent. 94
3.3. Cele mai utilizate aparate și instalații realizate pentru verificarea transformatoarelor de măsură 107
3.3.1. Aparat tip AIT pentru verificarea transformatoarelor de măsură 107
3.3.2. Aparat AEG pentru verificarea transformatoarelor de măsură 113
3.3.3. Aparat pentru etalonarea transformatoarelor de tensiune tip AETT-1 114
3.3.4. Aparat pentru etalonarea transformatoarelor de curent tip AETC-1 119
3.3.5. Metode de verificare a erorii de raport la transformatoarele de măsură, prin compararea armonicilor . . 123
4. Verificarea contoarelor electrice de inducție 129
4.1. Clasificarea și caracteristicile principale ale contoarelor . . 129
4.1.1. Criteriile de clasificare 129
4.1.2. Principalele date constructive ale contoarelor electrice de inducție 130
4.1.3. Caracteristicile contoarelor electrice 131

4.2. Metode de verificare a contoarelor electrice de inducție . . 132
4.2.1. Metoda timp-putere 132
4.2.2. Metoda punctului de control 135
4.2.3. Metoda mersului sincron 136
4.2.4. Procedee stroboscopice 138
4.3. Cîteva instalații realizate pentru verificarea contoarelor electrice. 150
4.3.1. Stația GANZ de reglat și verificat contoare trifazate 150
4.3.2. Stațiile de etalonat contoare ale firmei SIEMENS 151
4.3.3. Stațiile de reglat și verificat contoare VOLKMAR — R.D.G. 153
4.3.4. Instalație pentru verificarea în serie a contoarelor electrice 155
4.3.5. Instalație de verificat contoare monofazate în bandă rulantă 157
4.3.6. Dispozitiv semiautomat pentru verificarea contoarelor monofazate și trifazate 159
4.3.7. Stația METRABLOC pentru etalonarea contoarelor monofazate și trifazate 161
4.3.8. Stația PJUY-23 pentru etalonarea contoarelor active și reactive 162
4.3.9. Instalația VNIIEP pentru verificarea automată a contoarelor 163
4.3.10. Instalația MEMZ pentru etalonarea și verificarea contoarelor 164
4.3.11. Instalația MZES pentru verificarea automată a contoarelor 166
4.3.12. Stația tip PJUX-4 de etalonare a contoarelor monofazate 173
4.3.13. Stația PJUY-50 pentru etalonarea și verificarea contoarelor monofazate și trifazate 173
4.3.14. Stand automat pentru încercarea contoarelor cu calculator numeric SIEMENS 178
4.3.15. Stația „CALIGYR 6001“ pentru etalonarea prin impulsuri a contoarelor trifazate 184
4.3.16. Stația de etalonat contoare tip „PRECIGYR“ fabricată de firma „LANDIS și GYR“. 185
4.3.17. Compensatorul GOERZ cu autocompensare pentru verificarea contoarelor. 191
4.3.18. Stațiile de verificat contoare fabricate de firma „FERRANTI PACKARD“ 193
4.3.19. Instalație „DUNCAN“ pentru etalonarea contoarelor prin calculatoare 195
4.3.20. Contoare etalon electronice. 200
Bibliografie 203

În colecţia electricianului

au apărut :

76. Orakaliev D. D., Dikov C. I., Hristov C. H.
Electrocare (traducere din limba bulgară)
77. Aldea F., Cănescu S.
Bimetalul şi aplicaţiile lui în electrotehnică
78. Cruceru C., Ursea P.
Încercările cablurilor de energie în exploatare Ediţia a II-a
79. Kaminski E. A.
Cum se citesc schemele instalaţiilor electrice (traducere din limba rusă). Ediţia a II-a
80. Kerekeş I., Lokodi Z.
Montarea corectă a contoarelor electrice trifazate
81. Micu E.
Construcţia şi exploatarea cuptoarelor electrice de topire din industrie
82. Pietrăreanu E.
Tablouri electrice de distribuţie de joasă tensiune
83. Cruceru C.
Procedee de localizare a defectelor în reţelele de cabluri de energie
84. Lisáček R.
Rebobinarea micromotoarelor electrice (traducere din limba cehă)
85. Pietrăreanu T. M.
Pornirea şi protecţia motoarelor asincrone trifazate

vor apărea :

Huhulescu M.
Cartea bobinatorului de aparate electrice
Glückman M.
Instalaţii pentru încărcarea acumulatoarelor
Leonte P., Hnatiuc E. Baraboi A.
Electromagneţi